

# الهيدروجين

## مركبات تعمل بالماء

نيكي ووكر

ترجمة: عمر سعيد الأيوبي

© هيئة أبوظبي للثقافة والتراث، المجمع الثقافي
فهرسة دار الكتب الوطنية أثناء النشر

الهيدروجين: مركبات تعمل بالماء
نيكي ووكر


الطبعة الأولى: 1431 هـ / أكتوبر 2010 م

TP359.H8 W3512 2010
Walker, Niki, 1972-.
[Hydrogen: Running on Water]

الهيدروجين: مركبات تعمل بالماء/ تأليف نيكي ووكر؛ ترجمة عمر سعيد الأيوبي. – ط 1. – أبوظبي: هيئة أبوظبي للثقافة والتراث، كلمة، 2010.
32 ص؛ مص؛ 28x21.5 سم.
ترجمة كتاب: Hydrogen: Running on Water
تدمك: 978-9948-01-727-1
1 – الهيدروجين كوقود – أدب الأطفال.
أ – الأيوبي، عمر سعيد.

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنجليزي:
**Niki Walker, Hydrogen: Running on Water**


info@kalima.ae
www.kalima.ae
ص.ب: 2380 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة، هاتف: 468 6314 2 971+ ، فاكس: 462 6314 2 971+

www.adach.ae
ص.ب: 2380 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة هاتف: 300 6215 2 971+ ، فاكس: 059 6336 2 971+

# المحتويات



## تَوفيرُ الطاقة: «يُمكِننا القيامُ بذلك»

"يُمكِنُنا القيامُ بذلك" هُوَ الشِّعارُ الذي ظَهرَ على مُلْصَقاتٍ انْتَشرَتْ أثناءَ الحربِ العالميةِ الثانية، وعَرَضَ أحَدُ المُلْصَقاتِ "روزي العَامِلَة"، وهي امْرأةٌ تَرْتدي لِباسَ العَمِلِ الأزْرَق (الصورة أدناه). وَكانَ هذا المُلْصقُ يَهدُفُ في الأصْلِ إلى تَشْجيعِ المَرأةِ على الانْضِمامِ إلى القوَّةِ العَامِلَةِ لشَغْلِ أدْوارٍ غَيْرِ تقْليديةٍ كَعامِلاتٍ في القِطاعِ الصِّناعِيّ. واليوم أصْبحَتْ صورَةُ روزي العَامِلَةِ تُمثِّلُ زَمَناً اجْتَمعَ فيه الناسُ على تَحقيقِ هَدَفٍ مُشْترَك. يُمكِنُ مُواجَهَةُ التَّحَدّي الذي تُشَكِّلُهُ الطاقَةُ اليَوْمَ بِطَريقَةٍ مُماثِلَة. مَعاً نَسْتَطيعُ العَمَلَ لإنْقاذِ كَوْكبِنا مِنَ التلوُّثِ الذي يُسبِّبُهُ حَرْقُ أنْواعِ الوَقودِ الأُحْفوريّ، عَنْ طَريقِ تعلُّمِ الحِفاظِ على الطاقَةِ، وتَطْويرِ مَصادِرَ بَديلةٍ لها.





# الطاقةُ كُلَّ يوم

الطاقةُ تُشغِّلُ كُلَّ شَيْءٍ، مِنَ الكائِناتِ الحَيَّةِ إلى الآلاتِ، وتُسيِّرُه. فالنباتاتُ والحَيواناتُ تَحْصُلُ على الطاقَةِ مِنَ الغِذاءِ وتَستَخْدِمُها للتحَرُّكِ والنُّمُوّ، وتَستَمِدُّ مُعْظَمُ السيَّاراتِ الطاقَةَ من البِنْزين، في حينِ تَسْتَخْدِمُ العديدُ من الآلاتِ والأجهزةِ الأُخْرى، مِثْلَ الثلاّجاتِ ومَفاتيحِ الإنارَةِ، الطاقَةَ التي تَستَمِدُّها من الكَهْرباء.

## نَواقِلُ الطاقة

نواقِلُ الطاقَةِ تَنْقُلُ الطاقَةَ من مَكانٍ إلى آخَر، والكَهْرباءُ هِيَ ناقِلُ الطاقَةِ الرَّئيسيُّ اليَوْم، وتُصْنَعُ مُعْظَمُ الكَهْرباءِ في **مَعامِلِ الطاقة** بِحَرْقِ وَقودٍ أُحْفوريٍّ مِثْلَ الفَحْم، ويُمْكِنُ أيْضاً صُنْعُ الكَهْرباءِ باسْتِخْدامِ **الطاقَةِ النَّوَوِيَّة**، وتُرْسَلُ الكَهْرباءُ عَبْرَ خُطوطِ الطاقَةِ إلى المَنازِلِ والشَّرِكات.

## الهَيْدروجينُ باعْتِبارِهِ ناقِلاً

الهَيْدروجينُ غازٌ لا لَوْنَ لهُ ولا رائِحَة، وهُوَ أيْضاً ناقِلٌ للطاقَة، أيْ أنَّهُ يَسْتَطيعُ تَخْزينَ الطاقَةِ وتَوْصيلَها حَيْثُ يُحْتاجُ إلَيْها، يُنْتِجُ الهَيْدروجينُ الطاقَةَ عِنْدَما يُحْرَق، كَما أنَّهُ يُسْتَخْدَمُ لإمْدادِ خَلايا الوَقودِ بالطاقَة، وهِيَ أدَواتٌ شَبيهَةٌ بالبَطّارِيّاتِ التي تُنْتِجُ الكَهْرَباء.. يُنْقَلُ الهَيْدروجينُ إلى حَيْثُ يُحْتاجُ إلَيْهِ بواسِطَةِ الأنابيبِ، أوِ الشاحِناتِ، أوِ السُّفُن. ويَعْتَقِدُ العُلَماءُ والحُكوماتُ أنَّ الهَيْدروجينَ سَيُصْبِحُ ناقِلاً مُهِمّاً للطاقَةِ في المُسْتَقْبَل.

**(في الأسفل) تُنْتَجُ الكَهْرَباءُ مِنْ مَصْدَرٍ للطاقَة، مِثْلَ الوَقودِ الأُحْفوريِّ، أوِ الرِّياح، أوِ الشَّمْس.. بَعْضُ طُرُقِ إنْتاجِ الكَهْرَباءِ تُلَوِّثُ البيئَة، مِثْلَ اسْتِخْدامِ الفَحْم.**



# مَصادِرُ الطاقَة

هُناكَ نَوْعانِ من مَصادِرِ الطاقَةِ: مُتَجَدِّدَةٌ وغيرُ مُتَجَدِّدَة. تَشْمَلُ مَصادِرُ الطاقَةِ غيرِ المتجدِّدةِ أنواعَ الوَقودِ الأُحْفوريِّ، مِثْلَ الفَحْمِ والنِّفْطِ والغازِ الطَّبيعِيّ. وهُناكَ كَمِّيّاتٌ مَحْدودَةٌ من هَذِهِ المَصادِر. أمَّا المَصادِرُ المُتَجَدِّدَةُ، وتُسَمَّى أيْضاً مَصادِرَ الطاقةِ البَديلة، فإنَّ البَشَرَ أوِ الطَّبيعةَ يَستَبْدِلونَها باستِمْرار، وَهِيَ تَشْمُلُ الشَّمْسَ، والرِّياحَ، والكُتْلَةَ الحَيَوِيَّة.. لا تُصْدِرُ مَصادِرُ الطاقَةِ المُتَجَدِّدَةِ غازاتٍ مُضِرَّةٍ تُلَوِّثُ البيئَة.



الطاقَةُ الشَّمْسِيَّةُ، أوِ الطاقَةُ المُسْتَمَدَّةُ منَ الشَّمْس، مَصْدَرٌ بَديلٌ للطاقَة.




(في الأسفل إلى اليسار) تَبْتَكِرُ شَركاتُ صِناعَةِ السيَّاراتِ تَصاميمَ لِمَرْكَباتٍ تَسْتَمِدُّ الطاقَةَ مِنْ خَلايا الوَقود، تَسْتَخْدِمُ خَلايا الوَقودِ الهَيْدروجينَ لإنْتاجِ الكَهْرَباءِ التي تُزَوِّدُ موتوراتِ السَيّاراتِ بالطاقَة.

## تَوْفيرُ الطاقة

المُحافَظَةُ عَلى الطاقَةِ تَعْني خَفْضَ كَمِّيَّةِ الكَهْرَباءِ التي نَسْتَخْدِمُها. يُمْكِنكَ إيجادُ نَصائحَ عن كَيْفِيةِ الحِفاظِ على الطاقَة، ومَعْلوماتٍ عَنِ المُحافَظَةِ على البيئَةِ في مِثْلِ هَذِهِ المُرَبَّعات.



# حَانَ وَقْتُ التَّغْيير



تَأْتي مُعْظَمُ الطاقَةِ اليَوْمَ مِنْ أنْواعِ الوَقودِ الأُحْفوريّ، إلا أنه عِنْدَما يُحْرَقُ الوَقودُ الأُحْفوريُّ، تُطْلَقُ الطاقَةُ المُخْتَزَنَةُ فيه، وفي الوَقْتِ نَفْسِهِ تُنْتَجُ الغازاتُ التي تُضِرُّ بالبيئَةِ وصِحَّةِ البَشَر. لا يُمْكِنُ اسْتِبْدالُ الوَقودِ الأُحْفوريِّ عِنْدَما تَنْفَدُ مَوارِدُهُ في العَالَمِ، لِذا فإنَّ اسْتِخْدامَ طاقَةٍ بَديلَةٍ، مِثْلَ طاقَةِ الرِّياحِ أوِ الطاقَةِ الشَّمْسِيَّةِ، يُوَفِّرُ مَصْدَراً غَيْرَ مَحْدودٍ للطاقَةِ التي لا تُلَوِّثُ البيئَة.

(فوق) شُرْطِيٌّ يُوَجِّهُ حَرَكَةَ المُرورِ وَسْطَ دُخانِ عَوادِمِ السيَّاراتِ الناجِمِ عَنْ إحْراقِ الوَقودِ الأُحْفوريّ. تُنْتِجُ الغازاتُ التي تُطْلِقُها السيَّاراتُ دُخاناً ضَبابِيّاً، وَهُوَ تَلَوُّثٌ كَثيفٌ لِلْهَواءِ يوجَدُ عَلَى ارْتِفاعٍ مُنْخَفِضٍ في السَّماءِ فَوْقَ العَديدِ من المُدُنِ وَيُسَبِّبُ مَشاكِلَ تَنَفُّسِيَّة.

## الاحْتِرارُ العَالَمِيّ

يَعْتَقِدُ كَثيرٌ مِنَ العُلَماءِ أنَّ حَرْقَ الوَقودِ الأُحْفوريِّ سَبَبٌ رَئيسِيٌّ مِنْ أسْبابِ الاحْتِرارِ العَالَمِيّ. وَهُوَ الارْتِفاعُ التَدْريجِيُّ في دَرَجَةِ حَرارَةِ **جَوِّ** الأرْضِ والمُحيطات. عِنْدَما تُحْرَقُ أنْواعُ الوَقودِ الأُحْفوريِّ لِتَزْويدِ السيَّاراتِ بِالطاقَةِ أوْ تَسْخينِ الماءِ، فإنَّها تُطْلِقُ غازاتِ الدَّفيئَةِ، مِثْلَ ثاني أُكْسيدِ الكَرْبون. تَحْبِسُ غازاتُ الدَّفيئَةُ حَرارَةَ الشَّمْسِ في الجَوِّ وتَرْفَعُ دَرَجاتِ الحَرارَةِ على الأرْض. ويَعْتَقِدُ العُلَماءُ أنَّ الاحْتِرارَ العَالَمِيَّ سيُسَبِّبُ مُشْكِلاتٍ كُبْرى، مِثْلَ ذَوَبانِ الجَليدِ في القُطْبَيْنِ الشَّمالِيِّ والجَنوبِيِّ، ما يؤَدِّي إلى ارْتِفاعِ مُسْتَوياتِ المُحيطاتِ وَحُدوثِ فَيَضاناتٍ في المُدُنِ الساحِلِيَّةِ حَيْثُ يَعيشُ مَلايينُ البَشَر. وسَيُؤَثِّرُ أيْضاً على الطقس في جميعِ أنْحاءِ العالَمِ ويُسَبِّبُ مَزيداً مِنَ العَواصِفِ الشديدة. غَيْرَ أنَّ اسْتِخْدامَ الطاقَةِ البَديلَةِ والتَّقْليلَ من إحْراقِ الوَقودِ الأُحْفوريِّ يُبْطِئُ الاحْتِرارَ العالَمِيّ.



# خُروجُ الطاقَةِ عَنِ السَّيْطَرَة

يُوجدُ الوَقودُ الأُحْفوريُّ في أمَاكِنَ محدَّدةٍ من العَالَم، ولا تَمْتلِكُ سوى بَعْض البُلْدانِ إمدادات الوَقودِ الأُحْفوريِّ التي تَحْتاجُ إليها، لذا تَشْتري مُعْظَمُ البُلْدانِ الوَقودَ الأُحْفوريّ، مِثْلَ النِّفْطِ، من بُلْدانٍ أخْرى. عِنْدَما تَتَناقَصُ إمْداداتُ الوَقودِ الأُحْفوريِّ، تَرْتفِعُ أسْعارُها، ما يَعْني ازْدِيادَ كُلفةِ قِيادةِ السيَّاراتِ وتَدْفِئةِ المَباني أو تَبْريدِها، لِضَمانِ انْتِظامِ الإمْدادِ بالطاقَةِ بأسْعارٍ يَحْتمِلُها الناس، على البُلْدانِ اسْتِخْدامُ مَزيدٍ مِنْ مَصادِرِ الطاقَةِ البَديلَةِ، مِثْلَ الرِّياح والطاقَةِ الشَّمْسِيَّة. إنَّ خَلايا الوَقود، التي تَسْتَخْدِمُ الهَيْدروجين، تِقْنِيَّةٌ يُمكِنُ أنْ تُزَوِّدَنا ذاتَ يَوْمٍ بِطاقَةٍ مُتجَدِّدةٍ خالِيَةٍ مِنَ التَّلَوُّث، ورُبَّما تَتَمَكَّنُ مُعْظَمُ البُلْدانِ مِنْ إنْتاجِ الطاقَةِ التي تَحْتاجُ إلَيْها ذاتَ يَوْمٍ عِنْدَما يُصْبِحُ الهَيْدروجين مأموناً وسَهْلَ الاسْتِخْدامِ وغَيْرَ مُكْلِف.

(فوق) يُنْقَلُ النِّفْطُ عَبْرَ المُحيطاتِ في سُفُنٍ كَبيرةٍ تُسمَّى ناقِلاتِ النِّفْط وفي بعض الأحيان تَتَحَطَّمُ الناقِلاتُ أو يتسربُ النِّفْطَ منها، فَتُراقُ مُحْتَوَياتُها على الماء. تُضِرُّ هَذِهِ التَّسَرُّباتُ بالسَّمَكِ والطُّيورِ البَحْرِيَّةِ وحَيَواناتٍ أُخْرى.

(في الأسفل) النِّفْطُ مَصْدَرٌ قَيِّمٌ للطاقَةِ إذ يَمْكِنُ الحُصولُ مِنْهُ على مُنْتَجاتٍ مِثْلَ البِنْزين. يُنْتَجُ مُعْظَمُ النِّفْطِ في العالَمِ من حُقولٍ في الشَّرْقِ الأوْسَطِ، مِثْلَ هذا الحَقْلِ المَوْجودِ في المَمْلَكَةِ العَرَبِيَّةِ السَّعوديَّة.



# ما هو الهَيْدروجين؟

الهَيْدروجينُ غازٌ موجودٌ في الطبيعةِ لا لون له ولا رائحة، ويشكِّلُ أحَدَ مكوِّناتِ كثيرٍ من الموادِّ الموجودةِ في الأرْضِ. عَلى سَبيلِ المِثال، الماءُ يتكوَّنُ من الهَيْدروجينِ والأُكْسِجين، وهُوَ غازٌ يشكِّلُ جُزْءاً كَبيراً من الهواءِ الذي نَتَنَفَّسُه.. يُمْكِنُ اسْتِخْدامُ الهَيْدروجينِ لِنَقْلِ الطاقَةِ وتَخْزينِها، وفي المُسْتَقْبَل، رُبَّما يُوَفِّر الهَيْدروجينُ، إلى جانِبِ مَصادِرِ الطاقَةِ البَديلَةِ مُعْظَمَ الطاقَةِ التي يَسْتَخْدِمُها البَشَر.

## أَشكالُ الهَيْدروجين

الهَيْدروجينُ هُوَ أكْثَرُ الغازاتِ شُيوعاً في الكَوْن. الشَّمْسُ والنُّجومُ الأُخْرى مُعْظَمها يتكون مِنَ الهَيْدروجين. ويوجدُ الهَيْدروجينُ عَلى الأرْضِ مُتَّحِداً مَعَ مَوادَّ أُخْرى، كَما هُوَ الحالُ في الماء، أهم مَوارِدِ الهَيْدروجينِ في الأرض، وعِنْدَما يُستخرَجُ الهَيْدروجينُ مِنَ المادَّةِ التي يتَّحِدُ مَعَها، يُصْبِحُ بالإمْكانِ اسْتِخْدامُهُ ناقلاً للطاقَة.




تَحْتَوي أنْواعُ الوَقودِ الأُحْفورِيّ، مِثْلَ النِّفْط، على الهَيْدروجين. وتُسَمَّى أنواعُ الوَقودِ الأُحْفورِيِّ هَيْدروكَرْبونات، أيْ أنَّها مُكَوّنةٌ مِنَ الهَيْدروجينِ والكَرْبون، هنا يُسْتَخْرَجُ النِّفْطُ من تَحْتِ قاع البَحْر.

# الهَيْدروجينُ عَنْ قُرْب

يتكوَّنُ الهـيْدروجينُ من ذرَّات، مِثْلَ كُلِّ شَيْءٍ آخَرَ في الأرْض. والذرَّاتُ جُسَيْماتٌ صغيرةٌ من المَادَّةِ لا يُمْكِنُ رُؤْيَتُها، تَرْتَبِطُ بِذَرَّاتٍ أُخْرى لِتَشْكيلِ السَّوائِلِ والغازاتِ الأُخْرى. وَتَرْتَبِطُ ذرَّاتُ الهـيْدروجين بذرَّات الأُكْسِجينِ فَتُشَكِّلُ الماء، كما تَرْتَبِطُ ذَرَّاتُ الهَيْدروجِينِ بذَرَّاتِ الكَرْبونِ لِتَشْكيلِ أنْواعِ الوَقودِ الأُحْفوريّ. قَبْلَ التَّمَكُّنِ من اسْتِخْدام الهَيْدروجين، يَجِبُ تَحْريرُهُ بِكَسْرِ الروابِطِ التي تَجْمَعُ الذرَّاتِ معاً.

## داخِلُ النَّواة

تَتَكَوَّنُ الذرَّاتُ من أجزاء أكْثَرَ صِغراً تُسمَّى نـيُـوتْـرونـاتٍ وبـروتـونـاتٍ وإلِكْـتـرونـات. وذرَّاتُ الـهـيْدروجـيـنِ هـيَ أصْـغَـرُ الـذرَّاتِ وأبْسَطُها على الإطْلاق، إذْ تَضُمُّ بروتوناً وإلِكْتروناً واحِداً. وغالِباً ما تَرْتَبِطُ الذرَّاتُ مَعاً عَنْ طَريقِ تَشارُكِ الإلِكْترونات.. يُبَيِّنُ الشَّكْلُ أدْناهُ بِنْيَةَ ذَرَّةِ هَيْدروجينٍ واحدة.




لـلإلِـكْـتـرونـاتِ شـحْـنـةٌ سـالِـبَـةٌ صَغيرَةٌ، وهِيَ تَدورُ حَوْلَ النَّواة، وتَبْقى الإلِكْتروناتُ في مداراتِها لأنَّ شِحْناتِها السالِبَةَ تَجْذِبُها إلى الشِّحْنَةِ الموجَبَةِ للنواة، مِثْلَما تَعْمَلُ المَغْنَطيسات.

يُسمَّى مَرْكَزُ الذرَّةِ نَواة. وتَتَكَوَّنُ ذَرَّةُ الـهَيْدروجينِ مِنْ بروتونٍ ونيوترونٍ واحِد. للبروتون شِحْنَةٌ موجبَةٌ صَغيرَة، ولَيْسَ للنيوترونِ أيُّ شِحْنَة.



## المُحافَظَةُ على البيئَة

يُمْكِنُكَ تَوْفيرُ الطاقَةِ وخَفْضُ التلوُّثِ عَنْ طَريقِ المَشْي، أوْ رُكوبِ الدَّرَّاجَة، أو اسْتِخْدامِ المُواصَلاتِ العامَّة.. تَسْتَخْدِمُ السيَّاراتُ والشاحِناتُ الطاقَةَ التي تَحْصُلُ عَلَيْها مِنَ الوَقودِ الأُحْفوريّ، ما يُحدِثُ كَثيراً مِنَ التلوُّث. التقْليل من قِيادَةِ السيَّاراتِ مِنْ طُرقِ خَفْضِ هذا التلوُّث. المُواصَلاتُ العامَّةِ تَنْقُلُ الكَثيرَ مِنَ الأشْخاصِ إلى المَكانِ نَفْسِه، لذا فإنَّها تقلِّلُ عَدَدَ المَرْكَباتِ في الطُّرُقات. إذا كانَ عليك قِيادةُ السيَّارَة، حاوِلْ تَشارُكَ السيَّارَةِ مَعَ أصدِقائِك.

# تَحْريرُ الهَيْدروجين



إنَّ كَسْرَ الرَّوابِطِ التي تجْمَعُ ذرَّاتِ الهَيْدروجينِ معاً يَحتاجُ إلى طاقَة، وهُناكَ العَديدُ من الطُّرُقِ لإنتاجِ الهَيْدروجين.

## المحافظةُ على البيئَة

يَحْتاجُ صُنْعُ الأسْمِدَةِ التِّجارِيَّةِ إلى طاقَة، ويتمُّ ذلك في الغالِبِ عَنْ طَريقِ إحْراقِ الوَقودِ الأُحْفوريّ.. بَدَلاً من شِراءِ الأسْمِدَةِ مِنَ المَتْجَر، اصْنَعْها بنفْسِكَ عَنْ طَريقِ التَّسْميد. يَتِمُّ التَّسْميدُ عِنْدَما تَتعفَّنُ المَوادُّ العضْوِيَّةُ، أي التي كَانَتْ حَيَّةً ذاتَ يَوْم، مثلَ بَقايا الخَضْراواتِ ونُفايَةِ الحَديقَة. فيُمْكِنُ اسْتِخْدامُ ما يتبقَّى مِنْها لتغْذِيَةِ النَّباتات.



## إعادَةُ تَشْكيلِ الغازِ الطَّبيعيّ

إعادةُ تَشْكيلِ الغازِ الطبيعِيِّ هِيَ الطريقَةُ الأكثرُ شُيوعاً لإنْتاجِ الهَيْدروجينِ لأنَّها أقلُّ تكلِفَةً وتُنْتِجُ معظمَ الهَيْدروجين. الغازُ الطبيعِيُّ وَقودٌ أُحْفورِيٌّ، ما يَعْني أنَّه يتكوَّنُ من الهَيْدروكَرْبونات. أثْناءَ عمليَّةٍ تُسمَّى إعادةَ التشْكيلِ بالبُخار، يتَّحِدُ الغازُ الطبيعيُّ مع البُخارِ الساخِن، وهُوَ ماءٌ في شكلٍ غازِيّ. تَتَفَكَّكُ الروابطُ التي تجمعُ الذرَّاتِ معاً في البُخارِ والغازِ الطبيعيّ. وتُبدِّلُ الذرَّاتُ أماكِنَها مشكِّلَةً موادَّ جديدة، منها الهَيْدروجينُ وغازاتٌ أُخرى.

يشيعُ اسْتِخْدامُ الهَيْدروجين اليَوْمَ لصُنْعِ الأسمدةِ التي تُسْتَخْدَمُ لتَغْذِيَةِ النباتاتِ ومُساعَدَتِها في النُّمُوّ.

## تَغْوِيزُ الفحم

تَسْتَخْدِمُ العَديدُ من مَعامِلِ إنْتاجِ الهَيْدروجين في العالَمِ تَغْوِيزَ الفَحْمِ للحُصولِ على الهَيْدروجين. وَهُوَ عَمَلِيَّةُ تَحْويلِ مادَّةٍ صُلْبَةٍ إلى غازٍ، عن طَريقِ اسْتِخْدامِ حَرارةٍ عاليةٍ في الغالِب. لِتَحْويلِ الفحْمِ إلى غازٍ، يُسخَّنُ إلى دَرَجاتِ حرارةٍ عالِيَةٍ جدّاً، تصِلُ إلى 1652ْ فِهرنْهايْت (900ْ سِلْزيوس)، ويُخْلَطُ بالبُخارِ والأُكْسِجين.. يتكوَّنُ الغازُ الناتِجُ من **أوّلِ أُكْسيدِ الكربون**، وثاني أُكْسيدِ الكَرْبون، والهَيْدروجين، وبعْدَ ذلِكَ يُفْصَلُ الهَيْدروجينُ عما تبقَّى من الغازِ ويُخزَّن. وتغويزُ الفحمِ أقْدَمُ طَريقةٍ لإنْتاجِ الهَيْدروجين. وهو أكْثَرُ تكْلِفَةً من إنتاجِ الهَيْدروجينِ من إعادة تشكيلِ الغازِ الطبيعيِّ ويُطْلِقُ كمِّيَّةً أكبرَ من ثاني أُكْسيدِ الكَرْبونِ الذي يلوِّثُ الهَواء.

(في الأسفل) يُسمَّى هذا الجهازُ الذي يَبدو بسيطاً جهازَ هُفْمان (Hoffman)، وهو يَسْتَخْدِمُ الكَهْرَباء، المُسْتَمَدَّة من البَطّارِيةِ، لِتَفْكيكِ الماءِ إلى هَيْدروجين وأُكْسِجين.



(فوق) الفَحْمُ وَقودٌ أحفوريٌّ يُحْرَقُ كَمَصْدَرٍ للطاقَةِ مُنْذُ آلافِ السِّنين. يُلوِّثُ إحْراقُ الفَحْمِ البيئَة، لكنَّ ذلك لا يَزالُ مُتَّبَعاً، لا سيمّا في البُلْدانِ الفقيرَةِ والغَنِيَّةِ بالفحمِ، لِرُخْصِ ثَمَنِه.

## الوَقودُ من الماء

التَّحْليلُ الكَهرَبائيُّ يَسْتَخْدِمُ الكَهْرَباءَ لفَصْلِ الماءِ إلى ذرّاتِ هَيْدروجين وأُكْسِجين. عندما تُرْسَلُ الكَهْرباءُ عبرَ الماء، تُفكِّكُ الرَّوابِطَ التي تَجْمَعُ ذرّاتِ الهَيْدروجينِ والأُكْسِجينِ مَعاً. بعد ذلك يُجْمَعُ الهَيْدروجينُ المُتَشَكِّلُ ويُخْزَن. اليَوْمَ لا يُنتَجُ سوى قليلٍ من الهَيْدروجينِ باستخدام التحليل الكَهْربائيّ، لأنَّ الكَهْرَباءَ المُسْتَخْدَمَةَ في أجْهِزَةِ التَّحْليلِ الكَهْرَبائيِّ مُكْلِفة، لذا يُكلِّفُ الهَيْدروجينُ المُنْتَجُ بالتَّحْليلِ الكَهْرَبائيِّ ثلاثةَ أضْعافِ الهَيْدروجين المُنْتَجِ من الغازِ الطبيعِيّ.





## غازُ الكُتْلَةِ الحَيَوِيَّة

يُمْكِنُ أيضاً صُنْعُ الهَيْدروجينِ عن طَريقِ تَحْويلِ الكُتلةِ الحيويَّةِ إلى غاز (تَغْويز). الكُتْلَةُ الحيويَّةُ هِيَ اسْمُ كُلِّ الكائناتِ الحيَّةِ على الأرضِ والنُّفاياتِ التي تخلِّفُها.. الأعْشابُ وأعْوادُ الخَشَبِ ونُشارةُ الخَشَبِ ورَوْثُ الحيواناتِ أمْثِلَةٌ على الكُتْلَةِ الحَيَوِيَّة. تُسخَّنُ الكُتْلَةُ الحيويَّةُ إلى دَرجَةِ حرارَةٍ عالِيَةٍ إلى أنْ تَتَفَكَّكَ إلى غاز. يُضافُ البُخارُ إلى الغازِ لإنْتاجِ الهَيْدروجينِ وثاني أُكْسيدِ الكَرْبون. الكُتْلَةُ الحَيَوِيَّةُ مَصْدَرُ طاقةٍ مُتَجَدِّد، لكنَّها تُطلِقُ ثاني أُكْسيدِ الكَرْبون في الهَواءِ أيضاً. تَمْتَصُّ النباتاتُ جُزْءاً كبيراً من ثاني أُكْسيدِ الكَرْبونِ لمُساعَدَتِها في النُّموّ.

(فوق) تُوَلِّدُ مَزارِعُ الرِّياحِ الكَهْرَباءَ التي تُنْقَلُ بخُطوطِ الطاقَةِ إلى البُيوتِ والمَكاتِب. في بَعْضِ الأحْيانِ تكونُ الطاقَةُ المولَّدَةُ أكْثَرَ مما يُحْتاجُ إليها. يُمكِنُ استِخْدامُ هذه الطاقَةِ الفائِضَةِ لتَزْويدِ أجْهِزَةِ التَّحْليلِ الكَهْرَبائيِّ بالطاقَةِ لإنْتاجِ الهَيْدروجين.

(في الأسفل) يَدْرُسُ العُلَماءُ طَريقَةً لِجَمْعِ الهَيْدروجينِ الذي تَصْنَعُهُ الطَّحالِب. عِنْدَما تَنْمو الطَّحالِب، فإنَّها تُنتِجُ كمِّيَّاتٍ صَغيرةً من الهَيْدروجين، لا يَسْتَطيعُ العُلَماءُ حالِيّاً جَمْعَ ما يَكْفي من الهَيْدروجينِ كي تُصبِحَ العَمَلِيَّةُ مُجْدِيَة.






## الوُصولُ إلى الزَّبائِن

عندما يُحَرَّرُ الهَيْدروجينُ من موادَّ أخرى، يُنْقَلُ إلى حيثُ يُحتاجُ إليه، يُشَكِّلُ نَقْلُ الهَيْدروجينِ تحدِّياً. وتُستَخْدَمُ معدّاتٌ خاصَّةٌ لأنَّ الهَيْدروجينِ يتسرَّبُ بسُهولة، ويجعلُ معظَمَ المعادِنِ والبلاستيكِ هَشَّةً، أوْ قابِلَةً للكَسْر. يُنْقَلُ اليَوْمَ بَعْضُ الهَيْدروجينِ عَبْرَ خُطوطِ الأنابيب، وهي شَبَكَةٌ من الأنابيبِ المعدِنيَّةِ التي تُمدَّدُ تَحْتَ الأرْضِ أو فَوْقَها وتَنْقُلُ الوَقودَ مَسافاتٍ طويلَة. هناكَ بَعْضُ خُطوطِ أنابيبِ الهَيْدروجينِ في الوِلاياتِ المُتَّحِدَةِ وأوروبا، لَكِنَّ الأنابيبَ التي تَنْقُلُ الوَقودَ الأُحْفوريَّ أكثرُ بِكَثير. ويُنْقَلُ الهَيْدروجينُ بالشاحِناتِ والقِطاراتِ والسُّفُنِ أيضاً.

(فوق) تَعْرِضُ هذه المَحَطَّةُ المَوْجودَةُ في واشِنْطُن دي سي البِنْزينَ وغازَ الهَيْدروجين، وهذهِ المحطَّةُ هي الأولى من نَوْعِها في أميركا الشَّماليَّة، وقد افْتُتِحَتْ في سنةِ 2004.

## الهَيْدروجينُ في مَوْقِعه

من حُلولِ مُشكِلَةِ تَسليمِ الهَيْدروجينِ إنْتاجُهُ في مَوْقِعِه، أو في مَكانِ استِخْدامِه، لا يوجَدُ اليَوْمَ كَثيرٌ من مَحَطَّاتِ الهَيْدروجينِ في العالَمِ التي تُنتِجُ الهَيْدروجينَ في المَوْقِعِ باستِخْدامِ أجْهَزَةِ التَّحْليلِ الكَهْربائيِّ أو إعادَةِ تَشْكيلِ الغاز، لكنَّها مَوْجودةٌ في كاليفورنيا واليابانِ وألْمانيا وهولَنْدا وإسْبانْيا وأيْسلَنْدا والسُّوَيْد.

### المُحافَظَةُ على البيئَة

القيادةُ بذكاءٍ هي إحْدى طُرُقِ تَوْفيرِ الوَقودِ ومُساعَدَةِ البيئَة. أبْلِغْ والدَيْكَ بهذه الإرْشاداتِ الذَّكِيَّةِ للقِيادَة: ارْفَعْ سُرْعَةَ السَّيَّارَةِ بالتَّدْريج؛ اسْتَخْدِمْ مُثَبِّتَ السُّرْعَةِ على الطُّرُقاتِ السريعَة؛ احْرَصْ على أن تَكونَ عَجَلاتُ السَّيَّارَةِ مَنْفوخَةً جَيِّداً؛ وغَيِّرْ مُرَشِّحَ الهَواءِ بانْتِظام.



# تَخْزينُ الطاقَة

يُمْكِنُ تَخْزينُ الهَيْدروجينُ كَغازٍ أو سائلٍ أو صُلْب. لَكِنَّ الهَيْدروجينَ قابلٌ للاشتعالِ، على غِرارِ العَديدِ من أنْواعِ الوَقودِ الأُخْرى، لذا يَبْحَثُ العُلَماءُ عن طُرُقٍ آمِنَةٍ وسَهْلَةٍ لتَخْزينِه.

## تَحْتَ الضَّغْط

الهَيْدروجينُ غازٌ مُنْتَشِرٌ، أيْ أنّه خفيفٌ وينتشِرُ بسُرْعَة، فَيَشْغَلُ حيِّزاً كبيراً.. يُضغَطُ الهَيْدروجينُ، أو تُجْعَلُ ذرَّاتُهُ مُتَراصَّةً معاً لِيُصبِحَ اسْتِخْدامُهُ أكْثرَ كفاءة. ويُخَزَّنُ الهَيْدروجينُ المَضْغوطُ في خزّاناتٍ قَوِيَّةٍ مُحْكَمَةِ الإغْلاق. وذلك يَرْجِع إلى أنَّ غازَ الهَيْدروجينِ يَتَسرَّبُ من أضْيَقَ الثُّقوبِ ويُمْكِنُ أن يَخْتَرِقَ بَعْضَ المَوادِّ الصُّلْبَة، ويبلُغُ حَجْمُ خَزّانِ الهَيْدروجينِ المُسْتَخْدَمِ لِتَزْويدِ السيَّارَةِ بالطاقةِ عَشْرَةَ أضْعافِ خَزَّانِ البِنْزينِ الذي يَخزِنُ المقدارَ نفسه من الطاقة.

## الهَيْدريدات

يُمْكِنُ أيضاً تَخْزينُ الهَيْدروجينُ بِشَكْلٍ صُلْب ، مِثْلَ المَسْحوق، ويُسمَّى الهَيْدروجينُ المَمْزوجُ بِنَوْعٍ أو أكثرَ من المَعادِنِ هيدريداً. تَمْتَصُّ المَعادِنُ الهَيْدروجين مِثْلما يَمْتَصُّ الإسْفِنْجُ الماء. تَرْتَبِطُ ذرَّاتُ الهَيْدروجينِ بالذرَّاتِ التي تُكَوِّنُ المَعدِن، لذا يُسخَّنُ المَعْدِنُ لفَصْلِ الرَّوابِطِ وتَحْريرِ الهَيْدروجينِ. الهَيْدريداتُ أكْثرُ أماناً من الهَيْدروجينِ الغازيِّ أو السائل، لكنَّها ثقيلةٌ جداً، ما يَجْعَلُها غيرَ مُلائمةٍ لتَزْويدِ السيَّاراتِ بالطاقَة، ويَعْكِفُ العُلَماءُ حاليّاً على تَطْويرِ هَيْدريداتٍ جَديدةٍ خَفيفةِ الوَزْنِ لِحَلِّ هذه المُشْكِلَة.




(إلى اليسار) تَخْتَلِفُ تَعْبِئَةُ السيَّارَةِ بِغازِ الهَيْدروجينِ عن تَعْبِئَتِها بالبِنْزين. يَجِبُ إحْكامُ غَلْقِ فُوَّهَةِ مِضَخَّةِ الهَيْدروجينِ تماماً حَوْلَ فُتْحَةِ الخَزَّانِ، وإلاّ تسرَّبَ الغاز.

دراسة حالة

## وَقودُ الصواريخ




الإدارَةُ الوَطَنِيَةُ للمِلاحَةِ الجَوِيَّةِ والفَضاء (ناسا) في الولاياتِ المُتَّحِدةِ هي أكبرُ مُسْتَخْدِمٍ للهَيْدروجينِ في العالَمِ، حيث اسْتَخْدَمَتْ ناسا الهَيْدروجينَ السائلَ مُنْذُ أواخِرِ الخَمْسينيَّاتِ (1950) كَوَقودٍ لإطلاقِ الصواريخِ ومَكاكيكِ (مُفْرَدُها مَكُّوك) الفضاء. يَلْزَمُ كثيرٌ من الهَيْدروجينِ السائلِ لإطْلاقِ مكُّوكِ الفَضاء، وعِنْدَما يَنْطَلِقُ المَكُّوك، فإنَّهُ يكونُ محمَّلاً بنحوِ 103,330 كيلوغراماً من الهَيْدروجينِ السائلِ في خَزَّانِهِ الخارِجيّ. يُنتِجُ هَيْدروجينُ ناسا بإعادةِ تَشْكيلِ الغازِ الطبيعِيّ ثمّ تَسْييلِه، ويُنْقَلُ الهَيْدروجينُ المسيَّلُ بِصَهاريجَ إلى مَرْكزِ كِنيدي الفَضائيّ في فلوريدا.

يُخَزَّنُ الهَيْدروجينُ في خَزَّانٍ ضَخْمٍ سِعَتُهُ 3,217,590 لتراً مَوْجودٍ على مَقْرُبَةٍ من مِنصَّةِ إطْلاقِ المَكُّوك.

## الهَيْدروجينُ السائِل

يُمكِنُ أيضاً تَبْريدُ غازِ الهَيْدروجينِ وتَخْزينُهُ سائلاً، فالسَّوائلُ أكْثرُ كثافةً من الغازات، أو أنَّ ذرَّاتِها أكثرُ تراصّاً. ويعني ذلك أن الهَيْدروجينَ السائلَ يخزِنُ طاقةً أكْبَرَ مما يخْزِنُ في حالتِهِ الغازيَّة. يتحوَّلُ غازُ الهَيْدروجينِ إلى سائلٍ عند دَرجاتِ حَرارةٍ تَقِلُّ عن – 423 فهرنْهايْت (– 252 سِلْزيوس). ويُصنَعُ الهَيْدروجينُ السائلُ في المَصانِعِ باسْتِخْدامِ مُعِدَّاتِ تَبْريدٍ وضَغْطٍ خاصَّة. غيْرَ أنَّ تَسْييلَ الهَيْدروجينِ مُكْلِفٌ جِدّاً لأنَّهُ يتطلَّبُ كَثيراً من الطاقَة، ويَجِبُ صِناعَةُ خَزَّاناتِ التَّخْزينِ بِطَريقةٍ خاصّةٍ للمُحافَظَةِ على بُرودةِ الهَيْدروجين.

## تَوْفيرُ الطاقَة

تُسْتَخْدَمُ الطاقَةُ لِصُنْعِ كلِّ مُنْتَجٍ نَسْتَخْدِمُهُ في حَياتِنا اليَوْمِيَّة، وتَلْزَمُ الطاقَةُ لِصُنعِ هذه المُنْتَجاتِ وتَرْويجِها ونَقْلِها.. اشْتَرِ مُنْتَجاتٍ مُستَكْرَرَةً (أُعيدَ تدويرُها) متى أمْكَنَ ذلك، واشْتَرِ مُنْتَجاتٍ لا تَسْتَخْدِمُ كَثيراً من التَّغْليف، وإذا كان التَّغْليفُ كَثيراً، احْرِصْ على أنْ يَكونَ قابلاً للاسْتِكْرار.



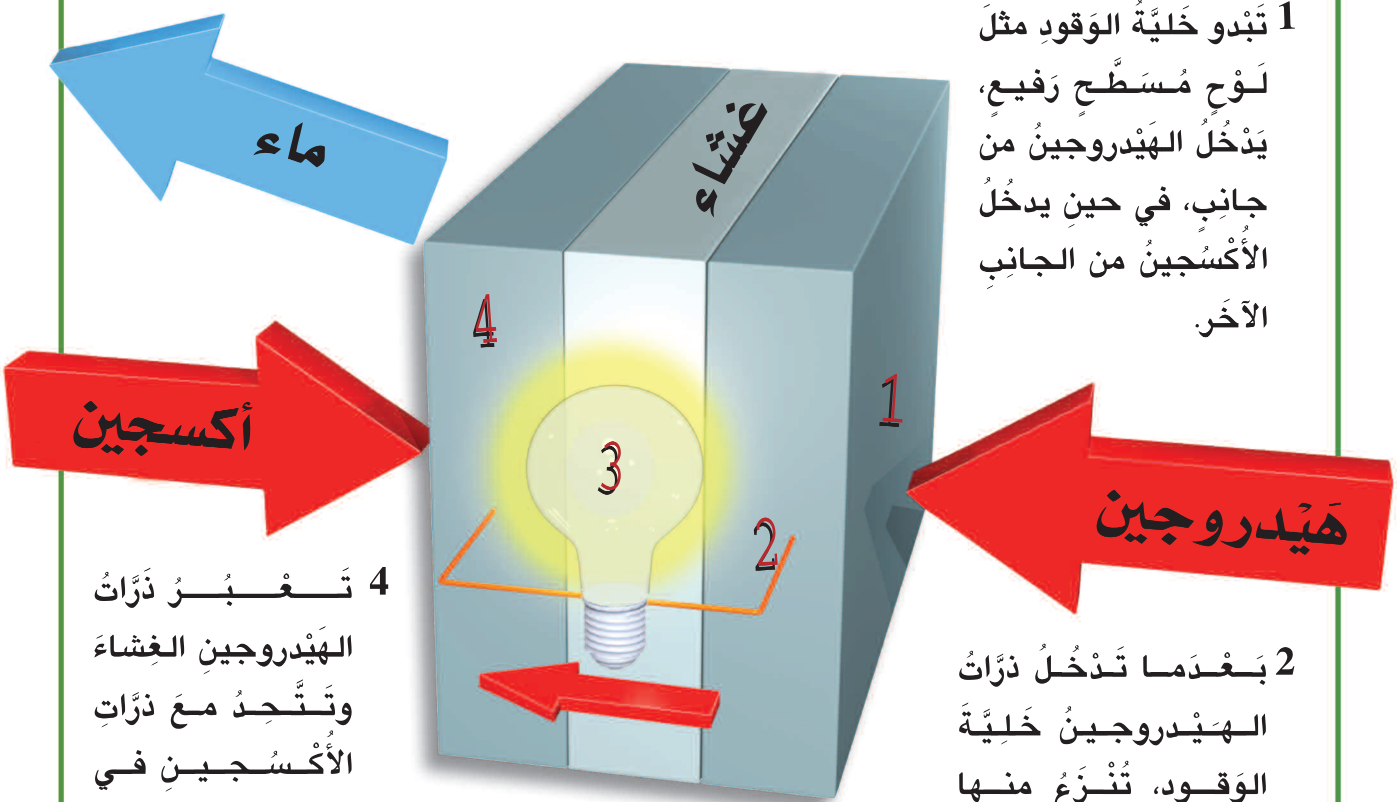
# خَلايا الوَقود

خَلايا الوَقودِ أجْهزَةٌ تُحوِّلُ الهَيْدروجينَ إلى كَهْرباء، وتَستَطيعُ خَلايا الوَقودِ إمدادَ أيِّ شَيْءٍ يَستَخْدِمُ الكَهرَباءَ بالطاقَةِ، من الهَواتِفِ الخَلَويَّةِ إلى الأجْهِزَةِ الكَهرَبائِيَّةِ المَنْزِليَّةِ إلى السيَّاراتِ والشاحِنات.. لا تُصْدِرُ خلايا الوَقودِ أي تَلَوُّث، فهيَ لا تُنْتِجُ إلا الماءَ إلى جانبِ الكَهْرَباء.

## مياهٌ صافِيَةٌ وعمليَّةٌ بَسيطَة

تَعْمَلُ خَلِيَّةُ الوَقودِ بالأُكْسُجينِ الموجودِ في الهواءِ والهَيْدروجينِ المخزَّنِ في وِعاء، يُمْكِنُ أن يَكونَ الوِعاءُ خُرْطوشَةً صَغيرةً إذا كانَ يُزوِّدُ حاسوباً مَحْمولاً أو هاتِفاً خَلويّاً، أو خَزّاناً كَبيراً لِتَزْويدِ السيَّاراتِ بالطاقَة، وتُستَخْدَمُ خزاناتٌ كَبيرةٌ جدّاً لِخَلايا الوَقودِ التي تُزَوِّدُ مَبْنًى بالكَهْرَباء.

## كَيْفَ تَعْمَلُ خَلايا الوَقود




1 تَبْدو خَلِيَّةُ الوَقودِ مثلَ لَوْحٍ مُسَطَّحٍ رَفيعٍ، يَدْخُلُ الهَيْدروجينُ من جانِبٍ، في حين يدخُلُ الأُكْسُجينُ من الجانِبِ الآخَر.

2 بَعْدَما تَدْخُلُ ذرَّاتُ الهَيْدروجينِ خَلِيَّةَ الوَقود، تُنْزَعُ منها الإلِكْترونات. تَتَدَفَّقُ الإلكترونـاتُ إلى خارجِ خَليَّةِ الوَقودِ عَبْرَ سِلْك. هذا التدفُّقُ للإلِكْتروناتِ هو الكَهْرَباء.

3 يرتَبِطُ السِّلْكُ بِجهازٍ كَهْرَبائيّ، مثلَ مِصْباحٍ ضَوئيّ، وتُوَفِّرُ الكَهْرَباءُ المُتَدفِّقةُ عَبْرَ السِّلْكِ الطاقَةَ التي يُحتاجُ إليها لتَشْغيلِ الجِهاز.

4 تَعْبُرُ ذرَّاتُ الهَيْدروجين الغِشاءَ وتَتَّحِدُ مَعَ ذرَّاتِ الأُكْسُجينِ في الجانِبِ الآخَر، ويُكَوِّنانِ معاً الماء.



## دَوْرَةٌ لا نِهايَةَ لها

بِاسْتِخْدامِ التَّحْليلِ الكهرَبائِيِّ وخَلايا الوَقودِ، يستطيعُ الناسُ اسْتِحْداثَ دَوْرَةٍ لا نهائيَّةٍ من الطاقَةِ غيْرِ المُلَوِّثَة، تَتَكَرَّرُ الدَّوْرَةُ عِنْدَما يَتَفَكَّكُ الماءُ الذي تُنتِجُهُ خَلايا الوَقودِ بالتَّحْليلِ الكَهرَبائيِّ لإنْتاجِ الهَيْدروجين، ثمَّ يُزَوِّدُ الهَيْدروجينُ خَلايا الوَقودِ بالطاقَةِ، فتُنْتِجُ الماءَ بِدَوْرِها.

(إلى اليسار) تُزَوِّدُ خَلايا الوَقودِ جَميعَ مَرْكَباتِ ناسا الفَضائِيَّةِ بالكَهْرَباءِ مُنْذُ الستينيَّاتِ (1960). توفِّرُ خَلايا الوَقود الطاقَةَ للمُعِدَّاتِ، وتُنْتِجُ في الوَقْتِ نَفْسِهِ ماءً صافياً يَشْرَبُهُ رُوَّادُ الفَضاءِ.



(إلى اليمين) تُطوِّرُ اليومَ عِدَّةُ أنْواعٍ من خَلايا الوَقود. يُصْنَعُ كلُّ نَوْعٍ مِنْ مَوادَّ مُخْتلفةٍ ويُنْتِجُ مَقاديرَ مُخْتَلِفَةٍ من الكَهْرَباء، ما يَجْعَلُها مثاليَّةً لِتَشْغيلِ مُنْتَجاتٍ مُعَيَّنَة. وتَستطيعُ خَلايا الوَقودِ تَزْويدَ كُلِّ شَيْءٍ بالطاقَةِ من الهَواتِفِ الخَلَوِيَّةِ إلى الحَواسيبِ المَحْمولَةِ ومُحَرِّكاتِ السيَّارات. بَلْ إنَّ خَليَّةَ وَقودٍ تزوِّدُ روبوطَ غودْزيلا المَعْروضَ في الشَّكْلِ بالطاقَة.

## طاقةٌ مَحْمولَة

خَلايا الوَقودِ شَبيهَةٌ بالبَطَّارِيَّات. فكِلاهُما يَحْمِلانِ الكَهْرَباء، وكِلاهُما مَحْمولان. توجَدُ في البطَّارِيَّةِ كميَّةٌ مَحْدودَةٌ من الوَقودِ المُخَزَّنِ بداخِلِها كَمَوادَّ كَهْرَبائِيَّة، وتُصْبِحُ البَطَّارِيَّةُ عديمةَ النَّفْعِ عندما يُسْتَهلَكُ وَقودُها، فتُسْتَبْدَلُ أو يُعادُ شَحْنُها عِدَّةَ ساعات، وعندما يَنفَدُ الهَيْدروجينُ من خلايا الوَقود، يُعادُ مَلْءُ الخَزَّانِ أوِ الخُرْطوشَةِ التي تُزَوِّدُها به أو تُستَبْدَل. تَعْمَلُ خَلايا الوَقودِ مدَّةً أطولَ بكثيرٍ من البَطَّارِياتِ قَبْلَ أن تَحْتاجَ إلى إعادةِ تزويدِها بالهَيْدروجين، ويُمْكِنُ تَكْرارُ ذلك مِراراً.



(إلى اليسار) يُشحَنُ هذا الهاتِفُ الخَلويُّ بواسِطَةِ خَلِيَّةِ وَقود. الأُسْطُوانَةُ التي يجري إقحامُها هي مَصْدَرُ الهَيْدروجين.

## مَكادِسُ الخَلايا

تُنْتِجُ خَليَّةُ الوَقودِ الواحِدَةُ قدراً صغيراً من الكَهْرباءِ يبلُغُ واطاً واحِداً، وهو ما قد يَكْفي لِتَزْويدِ أجْهَزَةٍ صَغيرةٍ بالطاقَةِ مِثْلَ الهَواتِفِ الخَلَويَّةِ أو الكاميراتِ الرَّقْمِيَّة. لَكِنْ تُجْمَعُ خلايا الوَقودِ مَعاً لِتَشْكيلِ مَكْدَسِ خَلايا للقِيامِ بأعْمالٍ تَتطلَّبُ الكَثيرَ مِنَ الكَهْرَباء، مِثْلَ تَشْغيلِ سيَّارَةٍ أو تَزْويدِ مَبْنًى بالكَهْرَباء، ويُمْكِنُ أن تَضُمَّ مَكادِسُ الوَقودِ أيَّ عَدَدٍ مِنَ الخَلايا لإنتاجِ مِقْدارِ الطاقَةِ اللازِم.

(في الأسفل) هذا المَكْدَسُ مَصنوعٌ من عَشَراتٍ من خَلايا الوَقود، ويُشَكِّلُ كلُّ عَمودٍ رَأْسِيٍّ رَمادِيٍّ، أو لَوْحٍ، خَلِيَّةَ وَقودٍ واحِدة.






## الطاقَةُ الثابِتَةُ في مَكانِها

يُمْكِنُ اسْتِخْدامُ خَلايا الوَقودِ أيضاً للطاقَةِ غَيْرِ المُتَحَرِّكَة.. الطاقَةُ غَيْرُ المُتَحَرِّكَةِ مَصْدَرٌ لِلْكَهْرَباء مستقر في مَكانٍ واحِد، مثلَ مَعْمَلٍ للطاقَة، ويُمْكِنُ أن يزوِّدَ مَكْدَسُ خَلايا الوَقودِ غَيْرِ المُتَحَرِّكَةِ بَيْتاً أو مَكتَباً بِكُلِّ احْتِياجاتِهِ من الكَهْرَباء، وفي المُسْتَقْبَلِ يُمْكِنُ أنْ تُزَوِّدَ مَكادِسُ ضَخْمَةٌ جَميعَ المَباني في البَلْداتِ والمُدُن، وتُفيدُ مَكادِسُ خَلايا الوَقودِ أيْضاً بِمَثابَةِ طاقَةٍ احْتِياطِيَّةٍ لِلمَنازِلِ والشركاتِ التي تَحْصُلُ عادَةً على الطاقَةِ مِنَ شَبَكَةِ الكَهْرَباء، إذا ما حَدَثَ انْقِطاعٌ لِلْكَهْرَباء، تَسْتَطيعُ خَلايا الوَقودِ المُتَّصِلَةُ مُباشَرَةً بالمَبْنى تَوْفيرَ الكَهْرَباءِ لِمُواصَلَةِ تَشْغيلِ الحَواسيبِ والأدواتِ المَنْزِلِيَّةِ وغَيْرِها مِنَ الأجْهِزَة، واليَوْمَ تُوَفِّرُ مَكادِسُ خَلايا الوَقودِ طاقَةً غَيْرَ مُتَحَرِّكَةٍ لِبَعْضِ المَصارِفِ والقَواعِدِ العَسْكَرِيَّةِ ومَراكِزِ الشُّرْطَةِ ومَباني المَكاتِب.

في سَنَةِ 2005، أصْبَحَ فُنْدُقُ وأبْراجُ شيراتون نيويورْك أوَّلَ فُنْدُقٍ في مَدينَةِ نيويورْك يُرَكِّبُ مَعْمَلَ طاقَةٍ بِخَلايا الوَقودِ لِلْمُساعَدَةِ في تَزْويدِ الفُنْدُقِ باحْتِياجاتِهِ من الكَهْرَباء.



### المُحافَظَةُ على البيئَة

الاسْتِكْرارُ (إعادَةُ التدوير) طَريقَةٌ مُهِمَّةٌ لِمُساعَدَةِ الأرْض، لَكِنَّ عَمَلِيَّةَ الاسْتِكْرارِ نَفْسَها بِحاجَةٍ إلى طاقَة. أعِدِ اسْتِخْدامَ المُنْتَجاتِ المُسْتَكْرَرَة، مِثْلَ أكْياسِ الوَرَق، ووَرَقِ وأطْباقِ الألِمِنْيومِ إلى أنْ يَتَعذَّرَ اسْتِخْدامُها ثانِيَة ، ثُمَّ ارْمِها في سَلَّةِ الاسْتِكْرار.

# على الطريق

الـغـازاتُ الـتـي تُـصْدِرُهـا الـسيَّـاراتُ أوِ السيَّـاراتُ الرِّيـاضيَّةُ رُبـاعِيَّةُ الدَّفْعِ أوِ الشاحِـنـاتُ والـمَرْكَباتُ الأُخْرى هِيَ أحَدُ الأسْبابِ الرئيسيَّةِ للتَّلَوُّث، وتَقومُ العَديدُ من شَركاتِ السيَّاراتِ والحُكوماتِ والعُلَماءِ بتَطْويرِ مَرْكَباتٍ لا تُحدِثُ تلوُّثاً أو تُحدِثُ القَليلَ مِنْه، بِمـا في ذَلك السيَّـاراتِ الـتـي تَـسْتَـمِدُّ طاقَـتَـها مِنَ الـهيْدروجيـن، ويُـمْـكِـنُ إحْـراقُ الـهَـيْـدروجيـنِ في المُحَرِّكاتِ أوِ اسْتِخْدامُه لتَزْويدِ خلايا الوَقودِ التي تُشَغِّلُ الموتوراتِ الكَهْرَبـائيَّة.



أكْثَرُ من نِصْفِ الوَقودِ الأُحْفوريِّ الذي يَحْرِقُهُ النـاسُ يُسْتَخْدَمُ لِتَزْويدِ السيَّاراتِ والشاحِناتِ والمَرْكَباتِ الأُخْرى بـالطاقَة.

## حَرْقُ الهَيْدروجين

تَـسْـتَـمِـدُّ مُـعْظَمُ الـسيَّـاراتِ والـشاحِـنـاتِ طـاقَـتَـها من مُحَرِّكاتِ الاحْتِراقِ الداخِلِيِّ التي تَحْرِقُ البِنْزينَ أوِ الديزِل، يُمْكِنُ تَعْديلُ هذه المُحَرِّكات، أو تَغْييرُها، لإحْـراقِ الـهَـيْـدروجيـنِ بَـدَلاً مِـنَ الـبـنـزيـن. إن إحْـراقَ الهَـيْدروجينِ في مُحَرِّكاتِ الاحْتِراقِ الداخِلِيِّ لا يُطْلِقُ ثاني أُكْسيدِ الكَرْبونِ في الهَواء، لَكِنَّهُ يُنْتِجُ غازَ دَفيئَةٍ يُدعَى أُكْسيدَ النِّتروجين، غَيْرَ أنَّ مِقْدارَ غازاتَ الدَّفيئَةِ الـتـي تُـطْـلِـقُـهـا مُـحـرِّكـاتُ الاحْـتِـراقِ الـداخِـلِـيِّ الـهَيْدروجينيَّة يَقِلُّ بِنَحْوِ 99 بالمِئَةِ عَمَّا تُطْلِقُهُ المُحَرِّكاتُ التي تَحْرِقُ البِنْزين.



(إلى اليسار) تَقومُ شَرِكاتُ صِناعَةِ السيَّاراتِ مِثْلَ فورد وبي إم دَبلْيو ومازدا بِتَطْويرِ سيَّاراتٍ ذاتِ مُحَرِّكاتِ احْتِراقٍ داخِلِيٍّ هَيْدروجينيَّة، تَشْتَغِلُ هذه المُحَرِّكاتُ بالهَيْدروجينِ أوِ البِنْزينِ أو بِمَزيجٍ منَ الاثْنَيْن. ويَعْتَقِدُ بَعْضُ الأَشْخاصِ أنَّ مُـحَـرِّكـاتِ الاحْـتِـراقِ الـداخِـلِـيِّ الهَيْدروجينيَّةَ خُطْوَةٌ كَبيرَةٌ نَحْوَ الانْتِقالِ مِنَ الوَقودِ الأُحْفوريِّ إلى طاقَةِ الهَيْدروجين.

دراسة حالة

## رُكوبُ الحافِلَة




في سَنَةِ 1993، أنْزَلَتْ شَرِكَةُ بالارْد باوَرْ سِسْتِمْز، وهِيَ شَرِكَةٌ كَنَدِيَّةٌ تُطَوِّرُ خَلايا الوَقود، أوَّلَ حافِلَةٍ تَعْمَلُ بِخَلايا الوَقود. كانَتْ تُريدُ أنْ تُظْهِر لِلْعالَمِ أنَّ خَلايا الوَقودِ يُمْكِنُ أنْ تُزَوِّدَ المَرْكَباتِ بالطاقَة. وقَدْ عمِلَتِ الحافِلَةُ في نِظامِ المُواصَلاتِ العامَّةِ في مَدينةِ فانْكوفَرْ الكَنَدِيَّة، وكانَ اخْتِيارُ حافِلَةِ نَقْلٍ عامٍّ جَيِّداً لأنَّ آلافَ الأشْخاصِ يَرْكَبونَها كُلَّ يوْم، وتَسْتَطيعُ الحافِلَةُ أنْ تَحْمِلَ خَزّانَ الهَيْدروجين الكَبيرِ جِدّاً والثَقيلِ بالنِّسْبَةِ إلى سَيّارَةٍ عادِيَّة، وفي السَّنَواتِ التي تَلَتْ هذا العَرْضَ لأوَّلِ حافِلَةٍ هَيْدروجينيَّة، واصَلَتْ شَرِكاتُ خَلايا الوَقودِ تَحْسينَ خَلايا الوَقودِ الخاصَّةِ بالمَرْكَباتِ واخْتِبارَها، واليَوْمَ يوجَدُ أكْثَرُ من مِئَةِ حافِلَةِ نَقْلٍ عامٍّ تَعْمَلُ بِخَلايا الوَقودِ في مدنٍ في الوِلاياتِ المُتَّحِدَةِ وكَنَدا وأوروبا والبَرازيلِ والمَكْسيكِ والصينِ ومِصْرَ والهِنْدِ وأيْسلَنْدا.




هَذِهِ أولى الدَرّاجاتِ التي تَعْمَلُ بِخَلايا وَقودِ الهَيْدروجين، وقَدْ كُشِفَ عَنْها لأوّلِ مرّةٍ في العاصِمَةِ البَريطانيَّةِ لَنْدَن في سِنةِ 2005، ويُتيحُ لها خَزّانُ الهَيْدروجينِ قَطْعَ مَسافَةِ 160 كيلومِتْراً.

## اخْتِبارُ قِيادَةِ سَيّاراتِ خلايا الوَقود

تَعْمَلُ شَرِكاتُ صِناعَةِ السيّاراتِ على خَلايا الوَقودِ مُنْذُ عِدَّةِ سَنَوات، وقَدْ أنْزَلَتِ العَديدَ مِنَ السيّاراتِ إلى الشوارِعِ للاخْتِبارِ والعَرْض، إلا أن سَيّاراتُ خلايا الوَقودِ باهِظَةُ الثَّمَن، لِذا لم تَبْدأ الشرِكاتُ الرائِدَةُ بِبَيْعِها بَعْد، ويُبْدي العَديدُ من الأشْخاص ثِقَتَهُمْ بأنَّ سَيّاراتِ خَلايا الوَقودِ سَتَكونُ مُتاحَةً أمامَ الجَميعِ بِحُلولِ سَنَةِ 2020، لَكِنْ هُناكَ العَديدُ مِنَ التَّحِدِّياتِ التي يَجِبُ التَّغلُّبُ عَلَيْها أوّلاً، مِثْلَ بِناءِ مَزيدٍ مِنْ مَحَطّاتِ تَعْبِئَةِ الهَيْدروجين وخَفْضِ أسْعارِ سَيّاراتِ خَلايا الوَقود.

# تاريخُ الهَيْدروجين

اكْتَشَفَ العَالِمُ الإنْجليزيُّ هِنْري كافِنْدِش (Henry Cavendish) الهَيْدروجينَ سَنَةِ 1766، فَسَمَّاهُ "الغازُ القابِلُ للاحْتِراق"، وقد وَجَدَ العُلَماءُ والمُخْتَرِعونَ العَديدَ من الوَسائِلِ لاسْتِخْدامِ الهَيْدروجينِ مُنْذُ اكْتِشافِه.

## التَّحْليقُ في الهَواء

في 1 كانونِ الأوَّلِ/ديسَمْبَر 1783، أصْبَحَ جاك تشارْلز (Jacques Charles) ونيكولاس روبِرْت (Nicolas Robert) أوَّلَ من يُسافِرُ بِمُنْطادٍ هَيْدروجينيٍّ ابْتَكَرَهُ تشارْلز. الهَيْدروجينُ أخَفُّ من الهَواء، لذا تَرْتَفِعُ المَناطيدُ من دونِ حاجَةٍ إلى تَسخينِ الغاز، مثل مَناطيدِ الهَواءِ الساخِن. وقد جَعَلَ ذَلِكَ مَناطيدَ الهَيْدروجينِ أكْثَرَ أماناً لعدم الحاجة إلى النار. وتَسْتَطيعُ مَناطيدُ الهَيْدروجينِ البَقاءَ في الهَواءِ فَتْرَةً أطْوَلَ من مَناطيدِ الهَواءِ الساخِن، وقد حَظِيَتِ المَناطيدُ بالجاذِبيَّةِ والشُّهْرَةِ في المَعارِض والاحْتِفالاتِ العامَّة.

## غازُ المَدينَة

في القَرْنِ التاسِعِ عَشَر، اسْتُخدِمَ نَوْعٌ مِنَ الغاز سُمِّيَ غازَ المَدينةِ في البُيوتِ للطَّهْوِ والإضاءَة. وكانَ غازُ المَدينةِ يُصْنَعُ بِتَسْخينِ الفَحْم، وهُوَ مَزيجٌ مِنَ الهَيْدروجينِ وغازاتٍ أُخْرى. وقد تَوَقَّفَ مُعْظَمُ الناس عن اسْتِخْدامِ غازِ المَدينةِ في أوائِلِ القَرْنِ العِشْرين، عِنْدَما اكْتُشِفَتْ كَمِّيَّاتٌ كَبيرةٌ من الغازِ الطبيعيِّ في أميركا الشَّماليَّةِ وأوروبا. وأصبَحَ الغازُ الطبيعيُّ أكْثَرَ شُهْرَةً لأنَّه يُنْتِجُ الحَرارَةَ ولا يُوَلِّدُ سُخاماً أو دُخاناً مِثْلَ غازِ المَدينة. ولا يَزالُ غازُ المَدينةِ يُسْتَعْمَلُ في أنْحاء من آسيا بِسَبَبِ عَدَمِ تَوافُرِ الغازِ الطبيعيِّ أوِ ارْتِفاعِ أسْعارِه.

في القَرْنِ التاسِعِ عَشَرِ وأوائِلِ القَرْنِ العِشْرين، اسْتُخْدِمَتْ مَناطيدُ الهَيْدروجينِ في الحُروب، بِما في ذَلِكَ الحَرْبِ العالَمِيَّةِ الأولى. فقد كانَتْ تُوَفِّرُ لِقادَةِ الجُيوشِ مَعْلوماتٍ جَيِّدَةً عن مَواقِعِ العَدُوّ.



## عَصْرُ السُّفُنِ الهَوائِيَّة

أدَّتِ التَّحْسيناتُ التي أُدْخِلَتْ على مَناطيدِ الهَيْدروجينِ إلى ابْتكارِ مَناطيدَ يُمْكِنُ تَوْجيهُها تُدْعى السُّفُنَ الهوائِيَّة، وقد بنى هِنْري غيفارْد (Henry Giffard) أوَّلَ سَفينةٍ هَوائيَّةٍ في سَنَةِ 1852 بإرفاقِ مُحرِّكٍ بُخاريٍّ ومِروَحةٍ بمُنطادٍ هَيْدروجينيّ، وفي سَنَةِ 1900، طَوَّرَ فِرْدِنانْد فون زيبْلين (Ferdinand von Zeppelin)، وهو ضابِطٌ عَسْكَريٌّ ألْمانِيٌّ، سَفينَةً هوائيَّةً جَديدةً تُسمَّى مُنطاداً مُوَجَّهاً أو زيبلين. يَتَكوَّنُ المُنطادُ المُوَجَّهُ من هَيْكَلٍ مَعْدِنيٍّ مُغطًّى بقُماش. وفي الثلاثينيَّات (1930) نَقَلَتْ مَناطيدُ زيبلين آلافَ المُسافِرينَ بَيْنَ ألْمانْيا وأميركا الشَّماليَّةِ والجَنوبيَّة، وكانتِ الرِّحْلَةُ بَيْنَ ألْمانْيا والوِلاياتِ المُتَّحِدَةِ تَسْتَغْرِقُ عادةً ما بَيْنَ ثَلاثَةِ وأرْبَعَةِ أيَّام.

## كارِثَةُ هِنْدِنْبِرْغ

انْتَهى عَصْرُ السُّفُنِ الهَوائِيَّةِ في سَنَةِ 1937، عندما انْفَجَرَ أكْبَرُ زيبلين في العالَم، هِنْدِنْبِرْغ. فقَدِ اشْتَعَلَتْ فيه النيرانُ عِنْدَ اقْتِرابِهِ من بُرْجِ الرُّسُوِّ. احْتَرَقَتِ السفينةُ الهَوائِيَّةُ وانْهارَتْ في 32 ثانِيَة، وقُتِلَ سِتَّةٌ وثلاثونَ شَخْصاً. في ذَلِكَ الوَقْت، أرْجَعَ الناسُ سَبَبَ الانْفِجارِ إلى الهَيْدروجينِ الذي يَحويهِ المنْطاد، ولم يَعُدْ أحَدٌ يُريدُ السَّفَرَ باسْتِخْدامِ الهَيْدروجين. وقد أظْهَرَ بَعْضُ العُلماءِ مُؤَخَّراً أنَّ الهَيْدروجينَ لم يَكُنْ سَبَبَ الكارِثَة، مَعَ أنَّه اشْتَعَلَ بالفِعْل. فقد كانَ القُماشُ الذي يغطي زيبلين مَطْلِياً بِمَوادَّ كيمْيائيَّة تُسْتَخْدَمُ اليَوْمَ في وَقودِ الصواريخ، ويَعْتَقِدُ كَثيرونَ أنَّ شَرارَةً مِنَ الكَهْرباءِ السُّكونِيَّةِ الناجِمَةِ عن عاصِفَةٍ رَعْدِيَّةٍ هي التي أشْعَلَتِ الحَريقَ في القُماش، ما أحْدَثَ الانْفِجار.



تَحَطَّمَتْ هِنْدِنْبِرْغ في ليكهيرسْت، بِولايَة نيوجيرسي الأميركية.

## خلايا الوَقودِ الأولى

ابْتَكَرَ العالِمُ البَريطانِيُّ وِلْيام غروف (William Grove) أوَّلَ خليَّةِ وَقودٍ في سَنَةِ 1839. وكانَتْ خَلايا الوَقودِ الأولى تَعْمَلُ بالطريقَةِ الأساسِيَّةِ نَفْسِها التي تَعْمَلُ بها خَلايا الوَقودِ اليَوْم، أي الجَمْعُ بين الهَيْدروجين والأُكْسجين لإنْتاجِ الكَهْرباءِ والماء، لكِنَّ تِلْكَ الخَلايا كَانَتْ تُنْتِجُ قَليلاً مَن الكَهرَباء، وكان إنْتاجُ الهَيْدروجين صَعْباً ومُكْلِفاً، وفي أوائلِ القَرْنِ العِشْرين، بَدَأَ النَاسُ في أوروبا وأميركا يَحْصُلونَ على كَهْرَباءٍ مَوْثوقَةٍ وغَيْرِ مُكْلِفَةٍ من الفَحْمِ ومَعامِلِ الطاقَةِ المائيَّة، لذا انْصَرَفَ الاهْتِمامُ عن مُتابَعَةِ تَطْويرِ تِكْنولوجيا خَلايا الوَقود.

## اسْتِخْدامُ خلايا الوَقود

في سَنةِ 1959، صَنَعَ فَرَنْسِس ت. بَيْكون (Francis T. Bacon) أوَّلَ خَلِيَّةِ وَقودٍ ذاتِ قُوَّةٍ كافِيَةٍ لتَشْغيلِ آلَة. في ذلك الوَقْت، كانَتْ ناسا تَبْحَثُ عن مَصْدَرٍ مَوْثوقٍ للطاقَةِ تَسْتَخْدِمُهُ في مَرْكَبَتِها الفَضائِيَّةِ وأُعْجِبَتْ بِخَلِيَّةِ الوَقودِ التي ابْتَكَرَها بَيْكون، لم تَكُنِ الخَلِيَّةُ تُنْتِجُ الكَهْرَباءَ فَحَسْب، وإنَّما الماءَ والحَرارَةَ أيضاً اللذَيْنِ يَسْتَخْدِمُهُما رُوَّادُ الفَضاء، وقد بَدَأَتْ ناسا باسْتِخْدامِ خَلايا الوَقودِ في الستينيَّات (1960). وبَقِيَتْ طَوالَ عَشَراتِ السنينَ الزَّبونَ الأكْبَرَ لِخَلايا الوَقودِ لأنَّها أكْثَرُ تَكلِفَةً بِكَثيرٍ من مَصادِرِ الطاقَةِ الأُخْرى مِثْلَ البِنْزين.

فرانسِس ت. بَيْكون مُهَندِسٌ بَريطانِيٌّ صَنَعَ أوَّلَ خَلِيَّةِ وَقودٍ ذاتِ قُوَّةٍ كافِيَةٍ لِتَشْغيلِ آلَة، وكانَتْ أوَّلَ أداةٍ تَستَمِدُّ طاقَتَها من خَلِيَّةِ الوَقودِ صُنعت من آلة لَحام، وهِيَ أداةٌ تَصِلُ القِطَعَ المَعْدِنِيَّةَ مَعاً.



## أزمةُ النِّفْطِ سنة 1973

في الستينيَّات (1960)، بَدَأتِ الشركاتُ تَطْويرَ خلايا الوَقودَ للسيَّارات، لكن لم يَكُنْ في وُسْعِ خَلايا الوَقودِ مُنافَسةَ مُحَرِّكاتِ الاحْتِراقِ الداخِلِيِّ التي لا يُكَلِّفُ تَشْغيلُها كثيراً، ويأتي البِنْزينُ الذي يُشَغِّلُ مُعْظَمَ مُحَرِّكاتِ السيَّاراتِ من النِّفْطِ المُسْتَوْرَدِ من بُلْدانِ الشَّرْقِ الأوْسَط، وفي سَنَةِ 1973، امْتَنَعَتْ تِلْكَ البُلدانُ عن بَيْعِ النِّفْطِ إلى الولاياتِ المتَّحِدَةِ والبُلْدانِ الأوروبيَّة. وأصْبَحَ الطَّلَبُ على النِّفْطِ أكْبَرَ بِكَثيرِ من الكَمِّيَّةِ المَعْروضَةِ، فَشَهِدَتِ الأسْعارُ ارْتِفاعاً كَبيراً.

(إلى اليسار) لا يَزالُ الهَيْدروجينُ مُسْتَخْدَماً في بَعْضِ المَناطيدِ اليَوْم. يُرسِلُ العُلَماءُ مَناطيدَ الهَيْدروجين إلى الجَوِّ لِجَمعِ المَعْلوماتِ عَنِ الطَّقْس. تَرْتَفِعُ المَناطيدُ ما يَصِلُ إلى 40 كيلومتْراً في الجَوّ.






(فوق) ارْتَفَعَتْ أسْعارُ البِنْزينِ خِلالَ الأزْمَةِ النِّفْطِيَّةِ في سَنَةِ 1973. فنفِدَ البِنزينُ في كثيرٍ من مَحَطَّاتِ الوَقود

## رُؤْيَةُ المُسْتَقْبَل

بَعْدَ حُدوثِ أزْمَةِ النِّفْطِ، أَخَذَتِ الحُكوماتُ النَّظَرَ في طُرقِ خَفْضِ اعتِمادِ بُلدانِها على النِّفْطِ، فَقَدَّمَتِ المالَ إلى الشرِكاتِ التي تُطَوِّرُ مَصادِرَ طاقَةٍ بَديلَة، مِثْلَ خَلايا الوَقود، فبَدَأت العَديدُ مِنَ الشَّرِكاتِ تَطْويرَ خَلايا وَقودٍ أفْضَلَ وأقَلَّ كُلْفَة. لَكِنْ فَقَدَ النَّاسُ الاهْتِمامَ في الهَيْدروجين ومَصادرِ الطاقَةِ البَديلَةِ عِندَما انْخَفَضَتْ أسْعارُ النِّفْطِ والبَنْزين في الثمانينيَّات (1980)، وفي السنَواتِ القَليلَةِ الماضِيَة، تَجَدَّدَ اهْتِمامُ الحُكوماتِ والشُّعوبِ في أنْحاءِ العالَمِ بِخَلايا الوَقودِ والهيْدروجينِ لأنَّهم يأمُلونَ في المُساعدةِ في خَفْضِ الاحْتِرارِ العالَمِيِّ والاعْتِمادِ عَلَى البُلْدانِ الأُخرى لِلْحُصولِ على النِّفْطِ.

# العَقَبات

يَعْتَقِدُ كثيرٌ مِنَ الأَشْخاص أنَّ الهَيْدروجينَ هو وَقودُ المُسْتَقْبَل. لَكِنَّ هُناكَ العَديدَ مِنَ التَّحدِّياتِ التي تُواجِهُ اسْتِخْدامَ الهَيْدروجينِ ويَجِبُ حَلُّها قَبْلَ أنْ يُصْبِحَ مَصْدَراً رَئيسيّاً من مَصادِرِ الطاقَة.

## الخَوْفُ من الحَريق

يُرافِقُ خَطَرُ حُدوثِ اشْتِعالٍ أو انْفِجارٍ جَميعَ أنْواعِ الوَقود، لَكِنَّ الهَيْدروجينَ أسْهَلُ اشْتِعالاً مِنَ البِنزينِ أو الغازِ الطَّبيعي. يُمْكِنُ أنْ تَنْدَلِعَ النارُ في الهَيْدروجين بِشَراراتٍ صادِرَةٍ عن أداةٍ إلِكْترونِيَّةٍ أو كَهرَباءَ سُكونيَّة، أو إذا تَلامَسَ مَعَ أجْسامٍ شَديدَة الحَرارَة، ومِنَ المُتَعذِّرِ تَقْريباً كَشْفُ تَسَرُّبِ الهَيْدروجينِ إذ لَيْسَ للهَيْدروجينِ رائِحَةٌ أو لَوْنٌ أو طَعْم. ويَعْتَقِدُ من يؤيِّدونَ الانْتِقالَ إلى الهَيْدروجينِ أنَّهُ يُمكِنُ تَجنُّبُ المَخاطِرَ إذا اتَّبَعَ النّاسُ قَواعِدَ السلامَةِ مِثْلَما يَتَّبِعونَ القَواعِدَ لاسْتِخْدامِ البِنْزينِ بِأمان، ويَرَوْنَ أيْضاً أن الهَيْدروجينَ أكْثَرُ أماناً من أنْواعِ الوَقودِ السائِلَةِ في بَعْضِ الوُجوه. فغازُ الهَيْدروجينِ يَرْتَفِعُ بِسُرْعَة، ولا يَسْتَغْرِقُ تَلاشي التَّهْديدِ بالخَطَرِ طَويلاً لأَنَّ الهَيْدروجينَ يَنْتَشِر.

## مُساعَدَةٌ أَمْ إعاقَة

يَأْتي مُعْظَمُ الهَيْدروجينُ اليَوْمَ من أنْواعِ الوَقودِ الأُحْفوريّ، وإنتاجُهُ يَزيدُ مِنَ التلَوُّثِ والاحْتِرار العالَميّ، لذا فإنَّ إنتاجَ الهَيْدروجينِ من مَصادِرِ طاقَةٍ نَظيفَةٍ هَدَفٌ مُهِمّ، ويُمْكِنُ أن يُصْبِحَ مُمْكِناً في المُسْتَقْبَلِ بَعْدَ بِناءِ مَزيدٍ مِنْ مَعامِلِ الطاقَةِ الشَّمْسيَّةِ وسِواها من مَصادِرِ الطاقَةِ المُتَجَدِّدَة – وتِلْكَ مُهِمَّةٌ تَتَطلَّبُ الكَثيرَ مِنَ الوَقْتِ والمالِ والتَّخْطيط.

هنا مُنطادٌ على شكل سيجارَةٍ مَملوءٌ بالهيدروجين. الذي تم إشعاله ليرتفع بالمنطاد دون انبعاث اللهب منه أو أي حرارة بِمُناسَبَةِ اليَوْمِ العالَميّ للامْتِناع عن التَّدْخين.



دراسة حالة

## فَرْضُ التغيير

سنَّتْ ولايةُ كاليفورنْيا قوانينَ تَهْدِفُ إلى إبْطاءِ الاحْتِرارِ العالَمِيّ، وقد طَلَبَت الولايَةُ من شَرِكاتِ صِناعَةِ السيَّاراتِ إنْتاجَ مَرْكَباتٍ تُصْدِرُ تَلَوُّثاً أقلَّ بِكثيرٍ مِنَ السيَّاراتِ التي تَسيرُ عَلى الطُّرُقاتِ اليَوْم. وعَلَى صانِعي السياراتِ أنْ يَتَوَصَّلُوا إلى طُرُقٍ لِتَلْبِيَةِ طَلَباتِ الولايَةِ بِحُلولِ سَنَةِ 2009. وفي سَنَةِ 2004، وَعَدَ حاكِمُ كاليفورنْيا بأن تُصْبِحَ مَحطَّاتُ وَقودِ الهَيْدروجين مَوْجودَةً في جَميعِ الطُّرُقاتِ السريعةِ الرئيسيَّةِ بِحُلولِ سَنَةِ 2010. وَوَعَدَتِ الحُكومَةُ بِالمُشارَكَةِ في تَكاليفِ بِناءِ المَحطَّاتِ القَليلَةِ الأولى وَوافَقَتْ على شِراءِ سيَّاراتِ خَلايا الوَقودِ للعامِلينَ في الحُكومَةِ. وتَأمُلُ الحُكومَةُ في تَشْجيعِ الانْتِقالِ مِنَ الوَقودِ الأحْفوريِّ إلى الهَيْدروجينِ عَنْ طَريقِ المُساعَدَةِ في بِناءِ مَحطَّاتِ تَعْبِئَةِ الهَيْدروجينِ وشِراءِ سَيَّاراتِ الهَيْدروجين.

## عَدَمُ وُجودِ شَبَكَة

إذا أصْبَحَ الهَيْدروجينُ وَقودَ المُسْتَقْبَلِ، يَجِبُ بِناءُ مَعامِلَ، وخُطوطِ أنابيبَ لِلْهَيْدروجين ومَحطَّاتٍ لتَعْبِئَتِه. اليَوْم، يُشكِّلُ الوَقودُ الأحْفوريُّ مَصْدَرَ الطاقَةِ الرَّئيسِيَّ وهُوَ مُتاحٌ بِسُهولَةٍ لِلْمُسْتَخْدِمين، توصِلُ ناقِلاتُ النِّفْطِ وخُطوطُ الانابيبِ النِّفْطَ إلى المَصافي حَيْثُ يُكَرَّرُ ويُنتَجُ البِنْزين، ويُنْقَلُ البِنْزينُ إلى مَحطَّاتِ الوَقودِ والزَّبائِنِ الآخَرينَ باسْتِخْدامِ خُطوطِ الانابيبِ والصَّهاريج، وَتوجَدُ مَحطَّاتُ الوَقودِ في كُلِّ بَلْدَةٍ ومَدينَة. تُعْرَفُ هَذِهِ الشَّبَكَة، أو مَجْموعاتُ الاشْخاص والشَّرِكات، التي تَنْقُلُ النِّفْطَ والغازَ إلى الزبائِنِ في كُلِّ أنْحاءِ العالَمِ باسْمِ البِنْيَةِ التَّحْتِيَّة.. لا يوجَدُ اليَوْمَ سِوى شَبَكَةٍ صَغيرةٍ لإنْتاجِ الهَيْدروجين ونَقْلِه، وهِيَ تَرْبُطُ مَعامِلَ الهَيْدروجينِ القَليلَةِ في العالَمِ بِزَبائِنِ الهَيْدروجينِ القَليلين، ويَعْتَقِدُ الخُبَراءُ أنَّ بِناءَ شَبَكَةٍ للهَيْدروجين سَيَسْتَغْرِقُ وَقْتاً وَكَثيراً مِنَ المال.

(في الأسفل) قَبْلَ أن يَشْتَرِيَ الناسُ السيَّاراتِ التي تَعْمَلُ بالهَيْدروجين، يَجِبُ أنْ يَقْتَنِعوا أنَّها آمِنَةٌ وأنْ تَكونَ كُلْفَتُها مَحْمولَة. اليَوْم، تُكَلِّفُ سيَّاراتُ خَلايا الهَيْدروجينِ أكْثَرَ بِكَثيرٍ مِنَ السيَّاراتِ التي تَعْمَلُ بالبِنْزين، كَما أنَّ مَحَطَّاتِ تَعْبِئَةِ الهَيْدروجينِ قَليلَة.



# إحداثُ التغيير

رُبَّما يَنْتَقِلُ العَديدُ مِنَ البُلْدانِ إلى اقْتِصادِ الهَيْدروجينِ في المُسْتَقْبَلِ، في اقْتِصادِ الهَيْدروجين، تَسْتَمِدُّ المَصانِعُ والبُيوتُ والسيَّاراتُ والآلاتُ الأُخْرى الطاقَةَ مِنَ الهَيْدروجينِ المَصْنوعِ مِنْ مَصادِرِ طاقَةٍ متجدِّدةٍ نَظيفَة، وَلا يُمْكِنُ الانْتِقالُ مِنَ الوَقودِ الأُحْفوريِّ إلى مَصادِرِ طاقَةٍ أُخْرى بَيْنَ لَيْلَةٍ وضُحاها، فَذلِكَ يَتَطَلَّبُ التَّخْطيطَ والوَقْتَ والكَثيرَ مِنَ المال.

## الخُطْوَةُ الأولى

بَدَأَتِ الخُطْوَةُ الأولى لِبناءِ اقْتِصاداتِ الهَيْدروجينِ، فالعُلَماءُ يَسْعَوْنَ إلى صِناعَةِ خَلايا وَقودٍ أَفْضَلَ وأَرْخَصَ ثَمَناً، وَطُرقٍ أَقَلَّ كُلْفَةً لِصُنْعِ الهَيْدروجينِ وتَخْزينِه، وتُنْفِقُ الحُكوماتُ والشركاتُ مِلْياراتِ الدولاراتِ لِلْمُساعَدَةِ في دَفْعِ تَكاليفِ هَذِهِ الأَبْحاث، وتَقومُ العَديدُ من الحُكوماتِ أيْضاً بِسَنِّ قَوانينَ لِتَحْديدِ كَمِّيَةِ الوَقودِ الأُحْفوريِّ التي يَسْتَخْدِمُها الأَفْرادُ والشَّرِكات، ما سَيُشَجِّعُ الناسَ على اسْتِخْدامِ مَزيدٍ مِنَ الطاقَةِ المُتَجَدِّدَة. في هَذِهِ الخُطْوَةِ الأولى، سَيَأْتي الهَيْدروجينُ مِنْ الوَقودِ الأُحْفوريِّ مِثْلِ البِنْزينِ والفَحْم، وبِمرورِ الوَقْت، سَيُنْتَجُ مَزيدٌ مِنَ الكَهْرَباءِ بِاسْتِخْدامِ مَصادِرِ الطاقَةِ البَديلَة، ويُمْكِنُ اسْتِخْدامُ هَذِهِ الكَهْرَباءِ لإِنْتاجِ الهَيْدروجينِ مِنْ دونِ تَلَوُّث.

## الخُطُواتُ التالِيَة

يَجِبُ أن يُشارِكَ الجَميعِ لِيُصْبِحَ اقْتِصادُ الهَيْدروجينِ حَقيقَة، وسَيَحْدُثُ التغْييرُ الكَبيرُ عِنْدَما يُقَرِّرُ الناسُ شِراءَ السيَّاراتِ والحَواسيبِ المَحْمولَةِ والكاميراتِ والأَجْهِزَةِ الأُخْرى التي تَعْمَلُ بِخَلايا وَقودِ الهَيْدروجينِ، تَسْتَطيعُ الحَكوماتُ مُساعَدَةَ الناسِ في شِراءِ سيَّاراتِ خَلايا الوَقودِ وخَلايا الوَقودِ الثابِتَةِ لِتَزْويدِ بُيوتِهِمْ وشَرِكاتِهِمْ بالطاقَةِ بِعَرْضِ المِنَحِ أو إعادَةِ جُزْءٍ مِنَ المالِ المَدْفوعِ إلى مَنْ يَشْتَرونَها. وعِنْدَما يَزيدُ عَدَدُ مَنْ يَشْتَري المُنْتَجاتِ التي تَسْتَمِدُّ الطاقَةَ مِنَ الهَيْدروجينِ، فإِنَّ أسْعارَها سَتَنْخَفِض، ما يُتيحُ نُمُوَّ اقْتِصادِ الهَيْدروجينِ بِمرورِ الوَقْت.



يَسْتَمِدُّ هَذا البَيْتُ في أَلْمانْيا الطاقَةَ مِنَ الشَّمْسِ وخَلِيَّةِ وَقود، وَيُخَزِّنُ غازُ الهَيْدروجينِ في الخَزَّانِ الأَبْيَضِ الكَبير.

دراسة حالة

# اقْتِصادُ أَيْسْلَنْدا الجَديد

تُخَطِّطُ أَيْسْلَنْدا، وهِيَ جَزيرةٌ في المُحيطِ الأَطْلَسِيِّ الشَّمالِيّ، لإقامَةِ أَوَّلِ اقْتِصادٍ هَيْدروجينيٍّ في العالَمِ بِحُلولِ سَنَةِ 2050، وتُعْتَبَرُ أَيْسْلَنْدا مَكاناً مِثالِياً لاقْتِصادِ الهَيْدروجينِ لأَنَّ مُعْظَمَ طاقَتِها مُسْتَمَدَّةٌ مِنَ الطاقَةِ الحَرارِيَةِ الأَرْضِيَّة، وهِيَ مَصْدَرُ طاقَةٍ عَديمُ التَّلَوُّث، يَسْتَخْدِمُ سُكّانُ أَيْسْلَنْدا هذه الطاقَةَ لِتَدْفِئَةِ المَباني وإنْتاجِ الكَهْرَباء. وقَدْ أُدْخِلَتْ فِكْرَةُ الانْتِقالِ إلى الهَيْدروجينِ في السبعينيّاتِ (1970) عِنْدَ حُدوثِ الأَزْمَةِ النِّفْطِيَّة، ولَبِثَ الأَمْرُ حتى سَنَةِ 1999 عِنْدَما شُكِّلَتْ مَجْموعَةُ الطاقَةِ الجَديدَةِ الأَيْسلَنْدِيَّة، وهِيَ مَجْموعَةٌ تَضُمُّ الحُكومَةَ الأَيْسلَنْدِيَّةَ إلى جانِبِ الشركاتِ والأَفْرادِ الذينَ يُمْكِنُ أَنْ يُساعِدوا في جَعْلِ اقْتِصادِ الهَيْدروجينِ حَقيقَةً في أَيْسْلَنْدا. وتَشْمُلُ الشركاتُ المَعْنِيَّةُ ديمْلَر كرايْسلَر، وهِيَ شَرِكَةُ سيّاراتٍ تُطَوِّرُ سيّاراتِ الهَيْدروجين؛ ونورْسك هَيْدرو، وهِيَ شَرِكَةٌ تَصْنَعُ أَجْهِزَةَ التَّحْليلِ الكَهْرَبائِيّ، أَيْ الأَجْهِزَةَ التي تُحَلِّلُ الماءَ لإنْتاجِ الهَيْدروجين؛ وشَرِكَةُ شل هَيْدروجين التي تَبْني مَحَطّاتِ وَقودِ الهَيْدروجين. وقد افْتُتِحَتْ في العاصِمَةِ الأَيْسلَنْدِيَّةِ ريكْيافيك أَوَّلُ مَحَطَّةٍ عامَّةٍ لِتَعْبِئَةِ وَقودِ الهَيْدروجينِ في سَنَةِ 2003. وهناكَ ثَلاثُ حافِلاتٍ هَيْدروجينيَّةٍ في عِدادِ نِظامِ المُواصَلاتِ العامَّة.



يوجَدُ في أَيْسْلَنْدا ما يَكْفي مِنَ الطاقَةِ الحَرارِيَّةِ الأَرْضِيَّةِ لإنْتاجِ كُلِّ الهَيْدروجينِ الذي تَحْتاجُ إلَيْه. والطاقَةُ الحَرارِيَةُ الأَرْضِيَّةُ هِيَ حَرارَةٌ مِنْ باطِنِ الأَرْض تَتَسَرَّبُ عَبْرَ البَراكين، واليَنابيعِ الحارَّة، والفوّارات، الأَشْخاصُ الظاهِرونَ أَعْلاهُ يَسْبَحونَ في يَنْبوعٍ حارٍّ خارِجَ مَحَطَّةِ طاقَةٍ حَرارِيَّةٍ أَرْضِيَّة.

# التسلسلُ الزمنيّ

رُبَّما يَكُونُ الهَيْدروجينُ وَقودَ المُسْتَقْبِل، لَكِنَّهُ ذو تاريخٍ طَويلٍ وغَنِيٍّ أَيْضاً، وقَدْ مَهَّدَتْ كَثيرٌ مِنَ الاكْتِشافاتِ والاخْتِراعاتِ التي تَمَّتْ في المِئَتَيْنِ والخَمْسينَ سَنَةٍ المَاضِيةِ الطريقَ لِتِكْنولوجْيا الهَيْدروجينِ اليَوْمَ وغداً.

## 1500 تقريباً

الكيميائيُّ ثِيوفْرَسْتُس بُمبَسْتُس فون هوهِنْهايْم (Theophrastus Bombastus von Hohenheim) يُنْتِجُ الهَيْدروجينَ بِمَزْجِ الأَحْماض والمَعادِن، لَكِنَّهُ لم يُدْرِكْ أَنَّ الغازَ الناتِجَ هُوَ الهَيْدروجين.

## 1766

هِنْري كافِنْدِش يَكْتَشِفُ الهَيْدروجين. وفي وَقْتٍ لاحِقٍ يُنْتِجُ الماءَ بِجَعْلِ شَرارَةٍ كَهْرَبائِيَّةٍ تُلامِسُ غازَ الهَيْدروجين.

## 1783

جاك تْشارْلز يُطْلِقُ أَوَّلَ مُنْطادٍ هَيْدروجينيٍّ غَيْرَ مَأْهول، وفي وَقْتٍ لاحِقٍ مِنْ تِلْكَ السنَةِ يُصْبِحُ هو ومُساعِدُهُ أَوَّلَ مَنْ يُحلِّقُ بِمُنطادٍ هَيْدروجينيّ.

## 1800

العالمانِ البَريطانيَّانِ وِليام نيكولْسون (William Nicholson) وأَنْطوني كارْلايْل (Anthony Carlisle) يَتَوَصَّلانِ إلى تَفْكيكِ الماءِ إلى هَيدروجين وأُكْسِجينٍ باسْتِخْدامِ التَّحليلِ الكَهْربائيّ.

## 1838

العالِمُ الأَلْمانيّ كْريستْيان شونْبين (Christian Schonbein) يَطْرَحُ الفِكْرَةَ بأَنَّ اتِّحادَ الهَيْدروجين والأُكْسِجين يُمْكِنُ أَنْ يُنْتِجَ تَيَّاراً كَهْربائياً وماءً – وَهِيَ الفِكْرَةُ التي تَقومُ عَلَيْها الخَلايا الكَهْرَبائيَّة.

## 1843

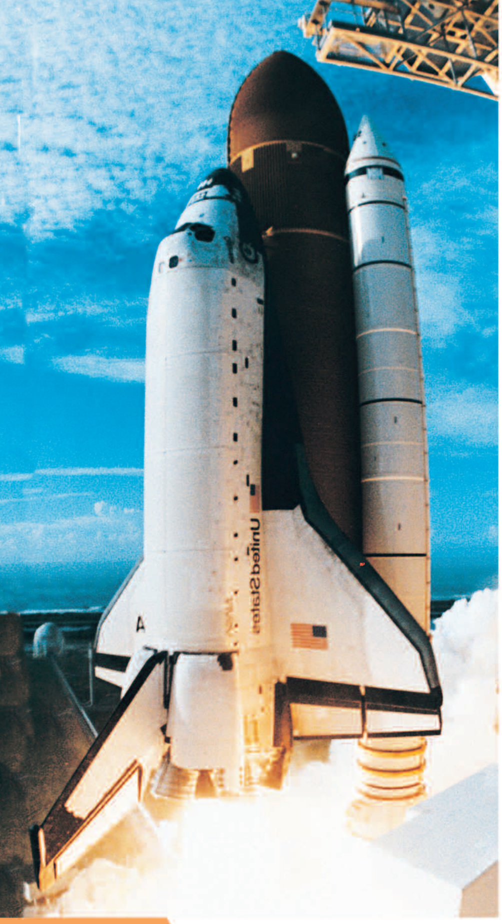
وِلْيام غْروف يَبْتَكِرُ أَوَّلَ خَلِيَّةِ وَقود.

## 1874

كاتِبُ الخَيالِ العِلْمِيِّ جول فيرْن (Jules Verne) يَكْتُبُ عَنْ الهَيْدروجين باعْتِبارِهِ وَقودَ المُسْتَقْبَلِ في كِتابِهِ "الجَزيرَةُ الغامِضَة" (*The Mysterious Island*). وكَثيرٌ مِنْ أَفْكارِهِ تَتَحقَّقُ اليَوْم.



الكيميائيُّ الفَرَنْسيُّ أَنطوان لافْوازييه (Antoine Lavoisier) يُسمِّي الهَيْدروجينَ في سَنَةِ 1783.



## 1889

لودْفِغ مُن (Ludwig Mon) وتشارْلز لانْغِر (Charles Langer) يَمْنَحانِ خَلايا الوَقود اسْمَها.

## 1937

كارِثَةُ هِنْدِنْبِرْغ تُنْهي شَعْبِيَّةَ السُّفُنِ الهَوائِيَّةِ وتَدْفَعُ النَاسَ إلى الاعْتِقادِ بأنَّ الهَيْدروجين غازٌ خَطير.

## 1959

فرَنسِس ت. بَيْكون يَعْرِضُ أوَّلَ خَلِيَّةِ وَقودٍ عَمَلِيَّةٍ في العالَم. وفي وَقْتٍ لاحِقٍ مِنَ السَّنَة، عَرَضَتْ شَرِكَة ألِسْ تشالْمَرْز مانوفاكْتشَرِنْغ كُمْبَني جَرَّاراً يَعْمَلُ بِخَلايا الوَقود – أوَّلَ مَرْكَبَةٍ تَعْمَلُ بِخَلايا الوَقودِ في العَالَم

## 1990

افْتِتاحُ أوَّلِ مَعْمَلٍ بالطاقَةِ الشَّمْسِيَّةِ لإنْتاجِ الهَيْدروجينِ في ألْمانْيا.

## 1993

شَرِكَةُ بالارْد باوَر سِستِمْز تَبْدأُ اخْتِبارَ الحافِلاتِ التي تَعْمَلُ بِخَلايا الوَقودِ في فانْكوفَر. والتَّجْرِبَةُ تُحقِّقُ نَجاحاً.

## 1998

أيْسلَنْدا تَكْشِفُ عن خُطَّتِها بأنْ تُصْبِحَ أوَّلَ بَلَدٍ ذي اقْتِصادٍ هَيْدروجينيّ.

## 2000

شَرِكَةُ بالارْد باوَر سِستِمْز تُدْخِلُ أوَّلَ خَلِيَّةِ وَقودٍ جَاهِزَةٍ للاسْتِخْدامِ في السَيَّارات.

## 2004

كاليفورنْيا تُصْبِحُ أوَّلَ وِلايَةٍ تَعِدُ بِبِناءِ "طَريقٍ سَريعٍ هَيْدروجينيّ". والوِلايَةُ تَعْتَزِمُ بِناءَ مَحَطَّاتٍ لِتَعْبِئَةِ وَقودِ الهَيْدروجين في جَميعِ الطُّرُقاتِ السريعَةِ الرئيسيَّةِ بِحُلولِ سَنَةِ 2010.

## 2005

أُسْرَةٌ في جَنوبِ كاليفورنْيا تُصْبِحُ الأولى التي لَدَيْها سيَّارَةٌ تَعْمَلُ بِخَلايا الوَقود، وهي تُشارِكُ في اخْتِبارِ السيَّارَة.

(فوق) في الستينيَّات (1960)، استَخْدَمَتْ ناسا خَلايا الوَقود لِتَزْويدِ صَواريخِ أبولو بالطاقَة، والهَيْدروجينَ السائِلَ كوَقودٍ لإطْلاقِ الصَّواريخ.

(في الأسفل) في سَنَةِ 2004، أجْرَتْ ألْمانْيا اخْتِباراً لأوَّلِ غوَّاصَةٍ تَعْمَلُ بِخَلايا الوَقود.



# المصطلحات

**اقتصاد** كَيْفَ يكسِبُ شعبٌ في بلدٍ ما المالَ ويُنفِقُهُ ويستَخْدِمُ الموارد

**أوّلُ أُكْسيدِ الكَرْبون** غازٌ سامٌ قابلٌ للاحْتِراق لا لَوْنَ له أو رائحَة

**جَوّ (الغلاف الجوي)** طبقات الغاز التي تحيط بالأرض

**الحربُ العالميَّةُ الأولى** حرب وقعت في أوروبا بشكل رئيسي وامتدَّت من سنة 1914 إلى سنة 1918

**ذرَّات** أصغر أحجار البناء التي تتكوَّنُ منها الكائنات الحيَّةُ وغير الحيَّة

**شبَكَةُ الكَهْرباء** نظامُ الأسلاك الكهربائية والمولِّدات والمعدَّات الأخرى التي توصل الكهرباء إلى البيوت والمباني الأخرى

**طاقةٌ نوويَّة** شكلٌ من أشكال الطاقة لا يُحدث تلوُّثاً للهواء، لكنَّه يولِّدُ نُفاياتٍ مضرَّةً يجب تخزينُها بأمانٍ مئاتٍ أو آلافٍ من السنين.

**طَحالِب** مجموعةٌ من النباتات، منها أعشاب البحر، ليس لها أزهارٌ أو جذورٌ أو سوق

**غاز** حالةٌ للمادَّةِ تنتشر فيها أجزاؤها وتبتعدُ بعضُها عن بعض. السائل والصلب هما الحالتان الأخريان للمادَّة

**فوَّارة** (حَمَّة) نبعٌ حارٌّ، أو بركةٌ طبيعيَّةٌ، تُطلِقُ نافورَةً من الماءِ والبُخارِ في الهواء

**كُتْلَةٌ حيويَّة** مادَّةٌ عضويَّة، مثل النباتاتِ والنُّفاياتِ الزراعيَّة، يمكن استخدامُها كوقود

**كَرْبون** مادَّةٌ موجودةٌ في العديدِ من الكائنات غير الحيّة وجميع الكائنات الحية

**كَهْرباء** شِحْنةٌ أو تيَّارٌ كهربائيٌّ ناتِجٌ عن تدفُّقِ الإلكترونات

**كَهْرَباءٌ سُكونيّة** شِحْنةٌ كهربائيَّةٌ يمكن أن تُطْلِقَ شرَراً وتنشأ عن صاعقةٍ أو احتِكاك

**مَادَّة** ما يتكوَّنُ منه جميعُ الأشياء، أي كل شيءٍ ذو كتلةٍ ويكون سائلاً أو صلباً أو غازاً

**مُحَرِّكُ احْتِراق داخِليّ** محرِّكٌ، مثلَ محرِّكِ السيَّارة، يحرِقُ الوَقودَ ويوفِّرُ الطاقَة

**مَعْمَلُ طاقَة** مكانٌ يولِّدُ الكهرباء

**مَعْمَلُ طاقَةٍ مائيّ** مكانٌ يُنتِجُ الكهرباءَ باستخدام الماء المتدفِّقِ لإدارةِ التوربينات؛ وبعد ذلك تزوِّدُ التوربيناتُ بالطاقةِ آلةً تولِّد الكهرباء

**مُنطادٌ بالهواءِ الساخِن** مركبةٌ يُملأ فيها بالونٌ كبير بهواءٍ مسخَّن بحيثُ يرتفعُ حاملاً الركَّابَ في سلَّةً

**واط** وِحْدةٌ تُستَخْدَمُ لقِياسِ كمِّيَّةِ الكهرباءِ التي يَستَخْدِمُها جهازٌ أو يولِّدُها

**يُنْبوعٌ حارّ** بِرْكَةٌ طبيعيَّةٌ من المياهِ الحارَّة

# الفهرس